



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**  
**«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Факультет «Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология»**  
**Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды»**

**Лариса Евгеньевна Пустовая**

# **ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ**

**Учебное пособие**

**РОСТОВ-НА ДОНУ**

**2023**

## СОДЕРЖАНИЕ

1 Понятие экологии, ее междисциплинарная роль .....	3
2 Биосфера .....	6
2.1 Учение о биосфере .....	6
2.2 Свойства и средообразующая роль живого вещества .....	10
3 Круговорот веществ и энергии в биосфере.....	13
4 Процессы фотосинтеза, транспирации и газообмена .....	17
5 Биогеохимический круговорот .....	22
5.1 Круговорот кислорода .....	23
5.2 Круговорот углерода.....	25
5.3 Круговорот азота .....	27
5.4 Круговорот фосфора .....	29
5.5 Круговорот серы.....	30
6 Биогеоценоз и его составляющие .....	31
7 Экосистемы и их устойчивость.....	33
8 Структура экосистем. Экологические пирамиды .....	36
9 Сукцессии .....	39
10 Искусственные экосистемы.....	42
10.1 Агроэкосистемы. ....	42
10.2 Космические экосистемы .....	43
11 Популяции .....	45
12 Взаимоотношения между организмами .....	49
13 Понятие экологического фактора, основные закономерности .....	53
15 Экологические законы жизни .....	58
16 Почвоведение и климат как фактор почвообразования .....	59
17 Ноосфера.....	64
18 Понятие загрязнения, виды и источники .....	67
19 Критерии оценки степени загрязнения .....	70
20 Экологические кризисы и катастрофы.....	74
21 Парниковый эффект .....	76
22 Эрозия почвы .....	79
23 Проблема загрязнения пестицидами .....	83

24 Озоновые дыры .....	85
25 Энергетический кризис .....	86
26 Радиоактивное загрязнение .....	92
26.1 Источники и виды ионизирующих излучений.....	92
26.2 Биологическое действие ионизирующих излучений .....	94
26.3 Количественная оценка облучения .....	98
26.4 Нормирование ионизирующих излучений .....	101
26.5 Защита от ионизирующих излучений .....	103
26.6 Утилизация радиоактивных отходов .....	104
27 Проблемы народонаселения.....	106
27.1 Рождаемость и смертность, половозрастные пирамиды,.....	108
причины демографического взрыва .....	108
27.2 Решение проблемы народонаселения .....	111
28 Инженерная экология.....	114
28.1 Защита атмосферы от газовых выбросов и пыли .....	114
28.2 Очистка сточных вод .....	125
28.3 Утилизация и захоронение твердых и жидких отходов.....	132
Литература.....	135

## 1 Понятие экологии, ее междисциплинарная роль

Экология – молодая наука, но древнейшая отрасль человеческого знания. Рождение экологии как самостоятельной науки произошло в середине XIX века. В 1866 году немецкий биолог **Эрнест Геккель** (1834-1919) назвал экологией один из разделов биологии – “науку об отношении организмов к окружающей среде”. Буквальный перевод введенного Геккелем термина “экология” с греческого языка означает “наука о доме”: “экос” – “дом, родина”; “логос” – “наука, учение”. Классическим определением экологии как науки считается следующее:

**экология – наука о закономерностях формирования, развития и устойчивого функционирования биологических систем разного ранга в их взаимоотношениях между собой и с окружающей их внешней средой.**

Изначально экология развивалась как часть биологической науки, в тесной связи с другими естественными науками – химией, физикой, геологией, географией, почвоведением, математикой и т.д. Постепенно она вышла за рамки биологии и приобрела междисциплинарное значение, то есть стала

наукой, стоящей на стыке целого ряда наук, неразрывно связанной с достижениями этих наук, активно использующей свойственные им методы, понятия и термины. Такое “размывание” понятия “экология”, потеря четких границ ее с другими науками привели к возникновению множества разделов и направлений экологии. Современная экология делится на ряд основных блоков:

- **общая экология**, изучает общие закономерности взаимоотношений любых живых организмов и среды. Она включает в себя следующие основные разделы: *экологию растений* (взаимоотношения растений и абиотической среды), *животных* (взаимодействие животных и факторов среды), *аутэкологию* (устанавливает пределы существования особи), *демэкологию* (изучает естественные группировки особей одного вида, т.е. популяции), *эйдэкологию* (экология видов), *синэкологию* (экология сообществ).

- **геоэкология** изучает влияние геологических процессов на состояние биосферы и ее компонентов.

- **социальная экология** изучает взаимоотношения в системе “человеческое общество – природа”, а один из ее разделов – *экология человека* – рассматривает взаимодействие человека как биосоциального существа с окружающей средой. Подразделяется на экологию человека (антропоэкология), экологию личности, экологию культуры.

- **инженерная экология** занимается исследованием природно-технических геосистем, формирующихся в результате взаимодействия природы и человеческого общества. Инженерная экология, опираясь на нормы жизнеобеспечения растительного и животного мира, определяет эффективные способы и средства охраны окружающей природной среды. Основной задачей инженерной экологии является создание таких методов и средств формирования и управления природно-техническими геосистемами, которые обеспечивали бы их функционирование, не нарушая механизмов саморегуляции объектов биосферы и естественного баланса природообразующих геосфер.

Взаимоотношения между организмами и средой могут быть самыми разнообразными, но, несмотря на это специфика «экологического» подхода заключается в том, что изучаются главным образом те их стороны, которые обеспечивают саму возможность существования – выживание, развитие и размножение.

Для экологии характерен так называемый **системный подход**, так как организмы (или сообщества организмов) образуют со средой обитания единство, в пределах которого осуществляется преобразование (трансформация) веществ и энергии. **Системный подход** – это направление в методологии познания объектов как систем.

Под **системой** понимается совокупность элементов, находящихся в тесных отношениях друг с другом и формирующих целостное образование. Отдельные элементы, из которых состоит система, вместе с тем не определяют самой ее структуры, хотя и образуют ее. Структура определяется способом взаимодействия элементов.

#### **Основные принципы системного подхода:**

- несводимость свойств отдельных составляющих к свойствам целой системы (свойство целостности);
- принципиальная возможность описывать систему, исходя из знания характера взаимоотношений ее элементов;
- каждый отдельный элемент можно представить, как отдельную систему, а с другой – как составляющий элемент другой системы, но более высокого уровня организации, т.е. как подсистему (свойство иерархичности соподчинения элементов).
- не существует абсолютно изолированных систем – каждая вступает в определенные взаимоотношения с окружающей средой (свойство открытости).

Для описания сложных экосистем необходимо строить множество моделей. Построение обобщенных моделей, отражающих все факторы и взаимосвязи в системе, является центральной задачей системного анализа. **Модель**

– это вспомогательный объект, который заменяет реальный в процессе познания. Выделяют несколько типов моделей: *материальные* (физические) и *абстрактные* (вербальные и схематические); статические и динамические. В экологии абстрактные (математические) модели целесообразно делить на модели популяционного, биоценотического и экосистемного уровней.

**Моделирование** – это разработка, исследование модели и распространение модельной информации на оригинал. К модели предъявляются следующие требования:

- отражать особенности оригинала, которые выступают в качестве предмета познания;
- должна соответствовать оригиналу.

#### **Этапы процесса моделирования:**

1. качественный анализ – постановка задачи и выбор вида модели,
2. математическая реализация – построение теоретической концепции на основе математического аппарата, вывод общей зависимости,
3. верификация – проверка соответствия модели оригиналу,
4. изучение модели – экспериментирование с моделью и интерпретация модельной информации для выявления новых закономерностей и возможности прогнозирования ее состояния.

В целом, с позиции системного подхода современной экологией можно считать науку, изучающую экосистемы, их состав, структуру, функционирование и эволюцию.

## **2 Биосфера**

### **2.1 Учение о биосфере**

Термин “биосфера” образован от греческих слов “биос” – жизнь и “сфера” – шар. Впервые этот термин был введен в научную литературу в 1875 году австрийским геологом Эдуардом Зюссом (1831-1914). Э. Зюсс понимал под “биосферой” пространство на поверхности Земного шара, где обитают живые организмы. Как научное направление, учение о биосфере сформиро-

валось в первой четверти XX века в России. Его основоположником стал великий русский ученый академик Владимир Иванович Вернадский (1863-1945). Классический труд В. И. Вернадского “Биосфера” был опубликован в 1926 году.

**Биосфера – сложная многокомпонентная система, включающая всю живую и неживую природу, т.е. область существования живого вещества.**

Биосфера сформировалась в результате длительной эволюции под влиянием следующих естественных факторов: солнечной энергии, силы гравитации, тектонических сил, химической энергии (окислительно-восстановительные процессы) и биогенной энергии (фотосинтез у растений, хемосинтез у бактерий, усвоение и окисление пищи у животных, размножение и продуктивность у биомассы).

#### **Структура биосферы:**

- 1. Атмосфера** (от греч. “атмос” – пар) – газовая оболочка Земли (до высоты 20-25 км).
- 2. Гидросфера** (от греч. “гидора” – вода) – водная оболочка Земли (до максимальной глубины 11.022 км – Марианская впадина на дне Тихого океана, а также 1-2 км донных отложений).
- 3. Литосфера** (от греч. “литос” – камень) – каменная оболочка Земли (до глубины ~ 4.5 км).

Пределы биосферы ограничиваются физическими условиями существования живых организмов. По современным представлениям существования жизни обусловлено границами температур от +160 до –250°C и давлением от 0,001 до 3000 атм.

Биосфера является мощной геологической силой, формирующей равновесие газов, жидкой и твердой фаз Земли и поставляющей огромную часть свободной энергии для усиления техносферы. Согласно учению В. И. Вернадского, *биосфера* имеет сложную внутреннюю структуру и *состоит* из семи *компонентов*:

- 1. Живое вещество** – совокупность всех живых организмов, населяющих планету. Характеризуется массой, химическим составом, энергией.
- 2. Косное вещество** – геологические образования, не входящие в состав живых организмов и не созданные ими (магматические горные породы, минералы).
- 3. Биокосное вещество** – продукты взаимодействия живого и косного веществ (океанические воды, почва).
- 4. Биогенное вещество** – геологические образования, созданные деятельностью живых организмов (каменный уголь, нефть, известняки).
- 5. Радиоактивное вещество** – химические элементы, находящиеся в состоянии радиоактивного распада.
- 6. Вещество космического происхождения** (метеориты).
- 7. Рассеянные атомы.**

**Особенность биосферы** – биогенная миграция атомов химических элементов, вызываемая лучистой энергией Солнца и проявляющаяся в процессе обмена веществ, росте и размножении живых организмов.

Чем же отличаются живые организмы от остальных (косных) природных веществ? Отвечая на этот вопрос, обычно говорят, что живые существа – это те, которые могут размножаться, двигаться и т.д. Это утверждение не полностью отражает суть отличия живого вещества. Основной отличительной способностью живого от неживого вещества является способ использования энергии.

Живое существо – это уникальный природный объект, обладающий способностью принимать и использовать энергию, идущую из Космоса. Улавливая энергию, прежде всего в виде солнечного света, живой организм может удерживать ее в качестве энергии сложных органических соединений, передавать или трансформировать в механическую, химическую, электрическую, тепловую и другие виды энергии. Косные (неживые) вещества не обладают возможностями столь сложных преобразований энергии. Обычно они принимают энергию и рассеивают ее в окружающую среду. Вторая особенность живых организмов – их уникальная способность к самовоспроизведению.



Производство новых идентичных по структуре и функционированию поколений, является не только копированием, но и характеризуется изменчивостью признаков из поколений в поколение. А это приводит к гибкой адаптивности и способности приспособления живых организмов к условиям обитания в процессе эволюции.

Высокая активность живого вещества, обусловленная его исключительными свойствами, предопределяет *свойства биосферы*, наличие которой превращает планету Земля в уникальное небесное тело:

1. **Биосфера – централизованная система.** Центральным звеном биосферы являются живые организмы (живое вещество).
2. **Биосфера – открытая система.** Ее существование обеспечивается поступлением энергии извне – прежде всего, солнечной энергии.
3. **Биосфера – саморегулирующаяся, обладающая динамическим равновесием система.** Это свойство обычно называют гомеостазом, понимая под ним способность системы, противостоять изменениям, возвращаясь в исходное состояние благодаря действию ряда механизмов. В основе гомеостаза лежит **принцип Ле Шателье-Брауна**: при внешнем воздействии на систему, выводящем ее из состояния устойчивого равновесия, последнее смещается в том направлении, при котором эффект воздействия ослабляется.
4. **Биосфера – система, характеризующаяся большим биологическим разнообразием.** Разнообразие форм жизни обеспечивает последовательное использование выделяемых в среду продуктов жизнедеятельности организмов, дает возможность дублирования, подстраховки, замены одних звеньев системы другими и т.д. Поэтому разнообразие является основным условием **устойчивости** любой экосистемы (и биосферы как глобальной экосистемы). Наличие лишь одной формы жизни предопределяет ее конечность вследствие истощения ресурсов и загрязнения среды продуктами жизнедеятельности, которые невозможно использовать вторично.
5. **Биосфера характеризуется наличием механизмов, обеспечивающих круговорот веществ и связанную с ним неисчерпаемость отдельных хими-**

**ческих элементов и их соединений.** Только благодаря круговороту веществ и наличию неисчерпаемого источника энергии (Солнца) обеспечивается непрерывность процессов в биосфере и ее потенциальное бессмертие.

## **2.2 Свойства и средообразующая роль живого вещества**

Живое вещество составляет самую незначительную часть биосферы: его масса ( $\sim 2.4 \cdot 10^{12}$  т) соответствует примерно одной двухтысячной (1/2000) массы атмосферы – самой легкой оболочки Земного шара; объем живого вещества составляет приблизительно одну полтора миллионную (1/1500000) объема всей биосферы. Тем не менее, именно живое вещество играет основополагающую роль в глобальных биосферных процессах. Признание живого вещества самой мощной геологической силой планеты составляет сущность учения В.И. Вернадского о биосфере. Он писал: “На земной поверхности нет химической силы более постоянно действующей, а потому и более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые вместе”. Такое исключительное положение живого вещества в биосфере обусловлено следующими уникальными *свойствами живого вещества*:

1. Чрезвычайно высокая скорость протекания химических реакций – в сотни и тысячи раз выше, чем в неживой природе. Она обусловлена наличием внутри живых организмов мощных биологических катализаторов – ферментов. Пример: количество пищи, ежедневно потребляемое некоторыми видами гусениц, в 100-200 раз превышает их собственный вес.
2. Способность быстро занимать (осваивать) все свободное пространство. Она обусловлена быстрым размножением и способностью организмов интенсивно увеличивать поверхность собственного тела или образуемых им сообществ. Пример: площадь листьев растений, занимающих территорию в 1 га, может составлять до 10 га и более.
3. Способность как к пассивному (под действием силы тяжести и т.п.), так и к активному (против течения, против силы тяжести, против ветра) движению.
4. Высокая приспособительная способность к различным условиям внешней

среды – к жизни в воде, в воздухе, в почве и т.д. Некоторые микроорганизмы способны жить в вакууме, при очень низких (до -273 К) или очень высоких (до 180 °С) температурах.

5. Устойчивость при жизни и быстрое разложение после смерти (т. е. включение в круговороты веществ).
6. Высокая скорость обновления живого вещества. В среднем для биосферы цикл полного обновления составляет ~8 лет.

Перечисленные уникальные способности живого вещества служат основой взаимной адаптации живых организмов и среды, в которой они обитают. “Организм, - писал Вернадский, - имеет дело со средой, к которой он не только приспособлен, но которая приспособлена и к нему”. Способность живых организмов приспосабливать к себе окружающую среду выражается в их воздействии на среду, изменяющем ее основные характеристики (состав, свойства и т.п.) и квалифицируется как **средообразующая функция (роль) живого вещества в биосфере**.

**Средообразующая функция живого вещества** является суммарной, то есть **складывается** в результате совместного действия **ряда функций**:

1. Энергетическая - заключается в связывании и запасании солнечной энергии в результате процесса фотосинтеза, передаче ее по трофическим цепям, рассеивание (в виде тепла).
2. Газовая - заключается в способности изменять и поддерживать определенный газовый состав среды обитания и атмосферы в целом. Это относится, прежде всего, к накоплению в атмосфере ее основных газовых компонентов – кислорода (в результате процесса фотосинтеза) и азота (в результате процессов разложения органики), поддержанию баланса O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>.
3. Концентрационная - заключается в способности организмов концентрировать в своем теле рассеянные химические элементы (углерод, водород, азот, калий, магний, фосфор и многие др.), повышая их содержание по сравнению с окружающей средой на несколько порядков. Отмирание живых организмов приводит к накоплению этих элементов в литосфере вплоть до образования

залежей полезных ископаемых – угля, нефти, торфа, известняков, металлических руд и т.д.

4. Окислительно-восстановительная - заключается в интенсификации природных процессов окисления (благодаря обогащению среды кислородом и деятельности аэробных бактерий) и восстановления (прежде всего, благодаря разложению органических веществ анаэробными бактериями). В результате образуются, например, болотные железные руды.
5. Деструктивная - заключается в разрушении живыми организмами и продуктами их жизнедеятельности как останков органического вещества, так и косных веществ. Главную роль здесь играют организмы-редуценты.
6. Транспортная - заключается в переносе вещества и энергии в результате активного движения живого вещества. Связана с размножением, ростом и перемещением (миграцией, кочевкой и т.п.) живых организмов.
7. Рассеивающая - эта функция противоположна концентрационной. Проявляется через трофические цепи и транспортную функцию живого вещества: например, рассеивание вещества происходит при выделении экскрементов, гибели организмов в процессе миграции и т.д.
8. Информационная - заключается в накоплении живыми организмами и их сообществами определенной информации, закреплении ее в наследственных структурах и передаче последующим поколениям.

### 3 Круговорот веществ и энергии в биосфере

Академик В. Р. Вильямс писал, что единственный способ придать чему-то конечному свойства бесконечного – это заставить конечное вращаться по замкнутой кривой, т. е. вовлечь его в круговорот.

Все вещества на планете Земля находятся в процессе круговорота. **Круговоротом веществ на Земле называются повторяющиеся процессы превращения и перемещения веществ в природе, имеющие более или менее выраженный циклический характер.** Различают два типа круговорота веществ – *большой* (геологический, абиотический) и *малый* (биологический, биотический).

**Большой круговорот** носит глобальный, планетарный характер, охватывает всю биосферу и выходит за ее пределы. Он обусловлен взаимодействием солнечной энергии с глубинной энергией Земли и представляет собой перераспределение вещества между биосферой и более глубокими слоями Земли. *Суть геологического круговорота* состоит в следующем: выветривание магматических горных пород приводит к их разрушению и трансформации в осадочные. Осадочные горные породы в результате ряда процессов попадают в зоны действия высоких температур и давлений (в частности, сносятся потоками воды в Мировой океан). Там они преобразуются (метаморфизм), переплавляются и превращаются в магму – источник новых магматических пород, которые вновь поднимаются на поверхность планеты в результате медленных геологических процессов. Каждый последующий цикл круговорота не является точным повторением предыдущего, а вносит что-то новое, и это со временем приводит к очень значительным изменениям.

**Малый круговорот** является частью большого, осуществляется внутри экосистем и не выходит за пределы биосферы. *Суть биологического круговорота* заключается в протекании двух противоположных, но взаимосвязанных процессов: создании органического вещества (биомассы) из неорганических соединений в процессе фотосинтеза и разрушении органического вещества

до неорганических соединений в процессе разложения. Источником биологического круговорота является солнечная энергия, которая связывается, запасается на поверхности Земли в результате процесса фотосинтеза.

*Фотосинтез* – единственный процесс на Земле, при котором солнечная энергия не только тратится и перераспределяется, но и связывается (в количестве, не превышающем 5% от всей энергии Солнца, достигающей земной поверхности). Связанная энергия вступает в круговорот по трофическим (пищевым) цепям, претерпевая превращения из одной формы в другую:

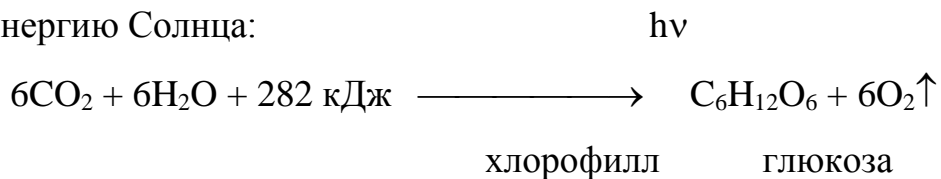
1. **солнечная энергия (свет),**
2. **химическая энергия (энергия химических связей),**
3. **механическая энергия (работа),**
4. **тепловая энергия (тепло).**

Таким образом, на каждом этапе развития живого организма часть потенциальной (запасенной растениями в процессе фотосинтеза) химической энергии, получаемой им в результате питания, позволяет организму осуществлять свои жизненные функции и высвобождается в космическое пространство в виде тепла.

Осуществление биологического круговорота происходит посредством жизнедеятельности трех групп организмов:

**1. Автотрофы (продуценты):** живые организмы, создающие сложные органические вещества (биомассу) из простых неорганических соединений, используя внешние источники энергии (зеленые растения и часть бактерий):

а). *Фотоавтотрофы* (зеленые растения, цианобактерии и некоторые другие виды бактерий) создают органическое вещество в процессе фотосинтеза, используя энергию Солнца:



б). *Хемоавтотрофы* (нитрифицирующие бактерии, железобактерии, серобактерии и другие виды бактерий) создают органическое вещество в про-

цессе хемосинтеза, используя энергию химических связей: окисляют  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$  и другие простые соединения до более сложных.

Количество создаваемой автотрофами биомассы называется *первичной продукцией*. Скорость образования первичной продукции (т.е. количество биомассы, образующейся в единицу времени на единице площади или в единице объема) называют *биологической продуктивностью экосистемы*.

**2. Гетеротрофы (консументы):** живые организмы, неспособные синтезировать органические вещества из неорганических и требующие поступления органического вещества извне в виде пищи, которой служат автотрофы и другие живые организмы. К консументам относится огромное количество живых организмов. Различают несколько групп гетеротрофов.

*Консументы I порядка* (фитофаги и детритофаги) – растительноядные животные и животные, питающиеся детритом (например, грифы, раки, земляные черви). Детрит – мертвые растительные и животные остатки (опавшие листья, фекалии, трупы и т.д.).

*Консументы II порядка* (зоофаги) – плотоядные животные, питающиеся фитофагами и детритофагами (хищники); насекомоядные растения и растения-паразиты.

*Консументы III порядка* – плотоядные животные, питающиеся зоофагами (вторичные хищники); животные-паразиты.

*Консументы IV и V порядка* – гиперпаразиты.

Существуют консументы со смешанным типом питания – полифаги (например, человек).

Таким образом, гетеротрофы строят свое тело за счет автотрофов. Количество биомассы, создаваемой консументами, называется *вторичной продукцией*.

**3. Сапротрофы:** живые организмы, питающиеся мертвым органическим веществом и разлагающие его до простых неорганических соединений. К ним относятся редуценты (различные виды бактерий, простейшие, грибы), а так-

же *детритофаги*. Частично минерализация органических веществ осуществляется всеми живыми организмами в процессе метаболизма.

В зависимости от того, какие организмы разлагают органическое вещество и в каких условиях, выделяют два процесса: *дыхание* (аэробное и анаэробное) и *брожение*.

**Аэробное дыхание** протекает в присутствии атмосферного кислорода, который служит акцептором электронов (окислителем). Аэробное дыхание – это процесс обратный фотосинтезу, направленный на разложение синтезированного органического вещества до углекислого газа и воды с высвобождением энергии, необходимой для поддержания жизнедеятельности клеток.

**Анаэробное (бескислородное) дыхание** происходит при отсутствии в окружающей среде свободного кислорода. Оно протекает значительно медленнее, чем аэробное, и при этом выделяется значительно меньше энергии с единицы субстрата. К анаэробному дыханию приспособлены денитрифицирующие бактерии, некоторые кишечные паразиты, большинство гетеротрофных почвенных микроорганизмов. Окислителем служит не кислород, а другие органические и неорганические соединения. Анаэробное дыхание служит основой жизнедеятельности главным образом сапрофитов (бактерии, дрожжи, плесневые грибы, простейшие), хотя этот процесс может встречаться и в некоторых тканях высших растений. Например, метановые бактерии разлагают органические соединения, образуя метан ( $\text{CH}_4$ ) путем восстановления органического углерода.

**Брожение** – процесс анаэробного ферментативного расщепления органического вещества различными микроорганизмами, при котором высвободившаяся энергия используется для биосинтеза различных жизненно важных аминокислот, белков. При брожении окисляемое органическое соединение само служит окислителем (например, брожение дрожжей).

Таким образом, преобразованная энергия солнца передается от организма к организму, образуя **трофическую цепь**. Трофические цепи экосистем сложно переплетаются в **трофические сети**. Место каждого звена в пищевой





около одного грамма сахара; это значит, что все растения изымают из атмосферы от 100 до 200 млрд. тонн углерода в год. Около 60% этого количества поглощают леса, занимающие 30% непокрытой льдами поверхности суши, 32% - окультуренные земли, а оставшиеся 8% - растения степей и пустынных мест, а также городов и поселков.

Лист осуществляет три важных процесса – фотосинтез, транспирацию (испарение воды) и газообмен. **Транспирация** – это испарение воды зелеными частями растений, причем она испаряется со всех поверхностей растений, соприкасающихся с воздухом.

#### *Типы транспирации:*

1. Устьичная – идет через устьичные щели,
2. Кутикулярная – идет через кутинизированные слои наружных стенок эпидермиса и кутикул,
3. Перидермальная – идет через опробковевшие стебли.

Последние два типа в количественном отношении от общей величины транспирации незначительны, в частности кутикулярная даже у растений затененных влажных местообитаний составляет всего 10% от общей величины. Перидермальная – зависит от структуры и наличия трещин в коре деревьев. Растения транспирируют очень большое количество воды, вследствие чего в них накапливаются минеральные вещества, и происходит полезное для растения понижение температуры во время солнечного нагрева. Общая транспирация зависит от многих экологических факторов: освещенности, влажности воздуха, ветра, рельефа и др.

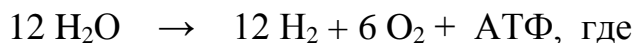
Огромную роль имеет понятие – **эвапотранспирация**, т.е. количество влаги, переходящее в атмосферу в результате транспирации зеленых растений и испарения с поверхности почвы, т.е. суммарное испарение (выражается в мм водного столба). Средне годовая норма осадков составляет 771 мм и большая их часть (404 мм) возвращается в атмосферу путем эвапотранспирации. Таким образом, растения поглощают и транспирируют около 38% общего количества выпадающих осадков.

Процесс фотосинтеза и постоянно протекающее дыхание живых клеток листа требуют газообмена между внутренними тканями листа и атмосферой, который также в основном осуществляется через устьичный аппарат.

Фотосинтез представляет собой окислительно-восстановительную реакцию, протекающую при участии хлорофилла зеленых растений за счет энергии солнечного излучения. В настоящее время известно, что фотосинтез проходит в две стадии, но только одна из них на свету. Доказательства двухстадийности процесса впервые были получены в 1905 году английским физиологом растений Ф.Ф. Блэклином, который исследовал влияние освещенности, и температуры на объем фотосинтеза, сделав следующие основные выводы:

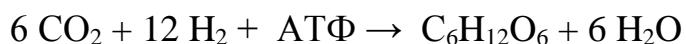
1. Имеется одна группа светозависимых реакций, которые не зависят от температуры. Световая стадия фотосинтеза проходит по схеме:

свет



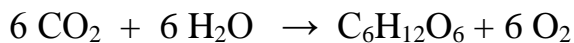
АТФ – молекула аденозин-трифосфата.

2. Имеется вторая группа реакций, зависимых от температуры, а не от света. Их называют темновыми реакциями, т.к. свет как таковой в них не участвует:



Суммарное уравнение процесса фотосинтеза можно выразить следующим уравнением:

свет



Фотосинтез в растениях осуществляется в хлоропластах. Световой процесс происходит в тилакоидах, темновой – в строме хлоропластов. Центральная роль в процессе фотосинтеза принадлежит молекуле **хлорофилла** (рис.1).

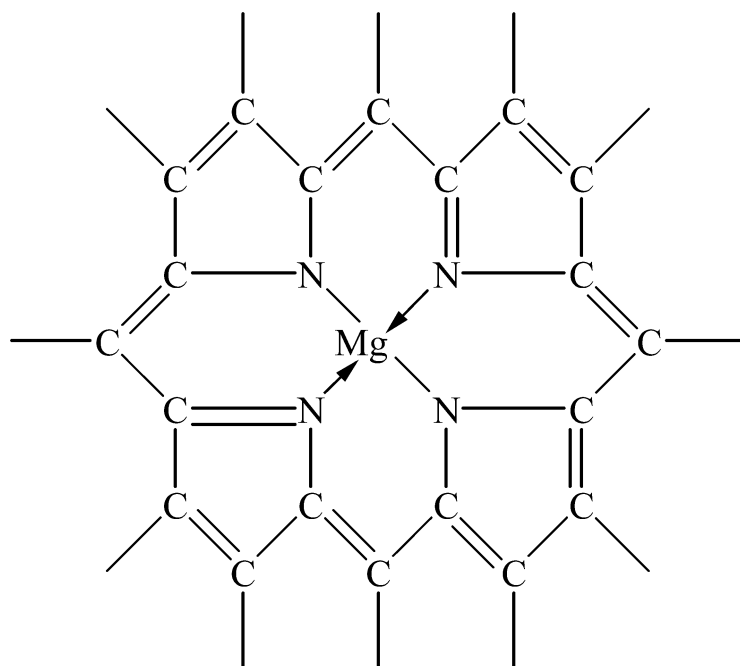
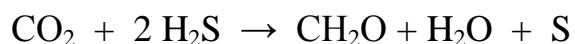


Рис.1 Молекула хлорофилла.

По структуре хлорофилл представляет собой хелатный комплекс. В центре кольца, состоящего в свою очередь из четырех колец, расположен атом магния. Молекула хлорофилла поглощает квант света (в красной и сине-фиолетовой частях видимого диапазона) и передает ее одному из своих электронов. Этот возбужденный электрон благодаря уникальному строению молекулы может оставаться в таком состоянии достаточно долго для вступления в химическую реакцию и передается, таким образом, веществу – переносчику, способному удержать такой электрон неопределенно долго. Этот электрон передается дальше по цепи переносчиков, теряя частями энергию, которая запасается в энергии химических связей сложных молекул (АТФ). В конце своего пути электрон, имеющий уже обычное количество энергии, попадает на протон и образуется атом водорода, который в дальнейшем будет использован для восстановления  $\text{CO}_2$  до глюкозы с расходом запасенной в АТФ энергии. Глюкоза может быть использована как вещество для построения структур организма, так и в качестве источника энергии посредством гликолиза. **Гликолиз** – это процесс получения энергии из химических связей, например, за счет расщепления шестичленной молекулы глюкозы до двух трехчленных молекул молочной кислоты. Он протекает в несколько

этапов. И каждый этап контролируется своим катализатором - ферментом. Т.о. набор ферментов является механизмом, позволяющем живым клеткам получать энергию из вещества. Причем получать ее тогда, когда это необходимо и в нужных количествах, т.е. механизм является саморегулирующимся. Конструкция каждого фермента уникальна, и воспроизвести ее клетка может, только имея информацию о составляющих ее элементах и последовательности их сборки. Эта информация заключена опять же в молекулах, которые называются генами. Кроме того, что информация, заключенная в генах, считывается не раз в течение жизни клетки, через гены она передается потомкам. Поэтому процесс гликолиза, как наиболее древний имеют практически все живые организмы биосферы, и клетки человека не исключение. Процесс гликолиза является бескислородным, называемым **анаэробным** путем получения энергии.

Процесс фотосинтеза идет не только в клетках растений и водорослей, но и в клетках фотосинтезирующих бактерий. Например, пурпурные серные бактерии восстанавливают углерод до углеводов, но не выделяют  $O_2$ . В качестве окислителя они используют не воду, а сероводород:



На интенсивность процесса фотосинтеза влияют освещенность, температура и другие абиотические факторы. В процессе фотосинтеза энергия излучения преобразуется в химическую энергию соединений углерода.

Процесс фотосинтеза все больше и больше привлекает к себе внимание ученых. Наука близка к разрешению важнейшего вопроса – искусственного создания при помощи световой энергии ценных органических веществ из широко распространенных неорганических веществ. В последнее время уже удалось искусственно синтезировать формальдегид и сахаристые вещества из водных растворов угольной кислоты; при этом роль поглотителя световой энергии играли вместо хлорофилла карбонаты кобальта и никеля. Недавно была синтезирована и молекула хлорофилла.

Таким образом, фотосинтез – это важнейший процесс в биосфере,

определяющий ее высокий кислородный потенциал, и создающий необходимые условия для существования живых организмов на нашей планете.

## 5 Биогеохимический круговорот

**Биогеохимический круговорот** – перемещение и превращение химических элементов через косную и органическую природу при активном участии живого вещества. Биогеохимический круговорот является важным показателем интенсивности биологического круговорота, отражая скорость обращения химических элементов.

Различают два типа биогеохимических циклов:

1. круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере и гидросфере.
2. осадочный цикл с резервным фондом в литосфере.

Атмосфера имеет большой резервный фонд и высокую способность к саморегуляции, в отличие от осадочного цикла, который легко нарушается. Это связано с тем, что основная часть химических веществ сосредоточена в относительно малоподвижном и малоактивном резервном фонде земной коры. Если изъятие химических элементов в этих циклах происходит быстрее, чем возврат, то какая-то их часть может выбыть из круговорота на длительное время. Механизмы возвращения химических элементов в круговорот основаны главным образом на биологических процессах.

Существенную роль в жизни биосферы играет круговорот **биогенных** химических элементов: углерода **C**, фосфора **P**, кислорода **O**, азота **N**, серы **S**, водорода **H**.

Одни из элементов требуются организмам в относительно больших количествах (**макроэлементы**), другие тоже жизненно необходимы, но в меньших количествах (**микроэлементы**).

### 5.1 Круговорот кислорода

Кислород является наиболее распространенным элементом на Земле (58 %). В атмосферном воздухе содержится около 21 весовой % кислорода, в литосфере – 47 %, а в гидросфере – 32%. Кислород и его соединения незаменимы для поддержания жизни. Вследствие количественного преобладания и большой окислительной активности кислород предопределяет форму существования химических элементов на Земле. Известно свыше 1400 минералов, содержащих кислород. Энергетические процессы в живом организме основываются на окислительно-восстановительных реакциях. При этом лишь некоторые группы микроорганизмов осуществляют эти процессы без участия кислорода путем гликолиза и брожения. Абсолютное большинство живых организмов получают энергию благодаря аэробному окислению органических веществ. Этот путь энергетически более выгоден. Он связан с закономерными процессами газообмена: постоянным притоком  $O_2$  и выносом  $CO_2$ , образующегося в результате окисления органических субстратов. При такой системе энергетического обеспечения жизнедеятельности организмов кислород приобретает роль важнейшего экологического фактора.

Механизм газообмена заключается в диффузии газов – кислорода и диоксида углерода – по градиенту концентрации. Основная масса кислорода находится в связанном состоянии; количество молекулярного кислорода в атмосфере оценивается в  $1,5 \cdot 10^{15}$  т, что составляет всего лишь 0,01% от общего содержания кислорода в земной коре. Относительное постоянство концентрации кислорода в атмосфере поддерживается благодаря процессу фотосинтеза. В этом процессе зеленые растения под действием солнечного света превращают диоксид углерода и воду в углеводы и кислород.

У растений дыхание в отличие от фотосинтеза осуществляется всеми органами и тканями. Кислород проникает в растения через устьица, растворяется в жидкостях клеточных стенок и по градиенту парциального давления проникает в цитоплазму.

У животных диффузионный принцип газообмена лежал в основе формирования специализированных органов дыхания. Для крупных форм это связано с разделением общего процесса дыхания на внешнее (газообмен в дыхательных органах) и внутреннее (газообмен в клетках и тканях). При этом формируется транспортная система (гемолимфа, кровь), функционально объединяющая эти два процесса. Дыхание через поверхность тела без участия транспортной системы эффективно лишь для очень маленьких организмов.

В большинстве случаев у многоклеточных животных сформировались специальные органы внешнего дыхания, связанные транспортной системой со всеми клетками и тканями организма. Принцип таких органов достаточно однообразен: формируются открытые участки покровных эпителиальных тканей, густо снабженные системой кровеносных капилляров. Через эти участки осуществляется диффузия  $O_2$  из внешней среды в кровь и  $CO_2$  – в обратном направлении.

Кислород также играет важную роль в процессах обмена. Он входит в состав белков, жиров, углеводов, из которых состоят организмы. В человеческом организме содержится, например, около 65% кислорода. Убыль кислорода в атмосфере в результате процессов дыхания, гниения и горения возмещается кислородом, выделяющимся при фотосинтезе. За счет деятельности зеленых растений и бактерий ежегодно поглощается около 300 млрд. т  $CO_2$ , выделяется 200 млрд. т  $O_2$ , синтезируется 150 млрд. т органических веществ. При этом консервируется в форме химической энергии  $45 \cdot 10^{18}$  кДж солнечной энергии. Ежегодно потребляемая при фотосинтезе энергия Солнца во много раз превышает количество энергии, потребляемой человечеством. Вырубка лесов, эрозия почв, различные горные выработки на поверхности уменьшают общую массу фотосинтеза и снижают круговорот кислорода на значительных территориях. Мощным источником кислорода является также фотохимическое разложение водяного пара в верхних слоях атмосферы под влиянием УФ солнечных лучей.



Кроме описанного выше круговорота кислорода в несвязанном виде, этот элемент совершает еще и важнейший круговорот, входя в состав воды. Круговорот воды заключается в испарении ее с поверхности суши и водоемов, переносе ее воздушными массами и ветрами, конденсации паров и последующее выпадение осадков в виде дождя, снега, града, тумана.

## 5.2 Круговорот углерода

Углерод по распространенности на Земле занимает шестнадцатое место среди всех элементов и составляет приблизительно 0,027% массы земной коры. В несвязанном состоянии он встречается в виде алмазов и графита. Каменный уголь содержит до 90% углерода. В связанном состоянии углерод входит также в разные горючие ископаемые, в карбонатные минералы (доломит, кальцит), а также в состав всех биологических веществ.

Углерод имеет исключительное значение для живого вещества. Тип жизни на Земле обычно называют **углеродным**, потому, что именно этот элемент составляет ее основу. Углерод в таблице Менделеева стоит под шестым номером и на внешней орбите имеет четыре электрона. Вступая в реакции с другими атомами, углерод заполняет полностью свой внешний электронный слой, образуя прочные ковалентные связи. Значение углерода, как основы жизни определяется тем, что его атомы, как атомы никакого другого элемента способны образовывать прочные связи друг с другом, образуя цепочки и кольца, которые являются скелетом органических молекул. Сочетание цепочек и колец с различным количеством звеньев, содержащих насыщенные и ненасыщенные связи, на которых как на скелете крепятся другие атомы и химические группы, имеющие различные химические свойства, дает огромное разнообразие биологических молекул. Эти молекулы являются **веществом**, из которого строятся живые организмы. Из углерода в биосфере создаются миллионы органических соединений.

Во времена зарождения жизни на Земле и океан, и атмосфера, и климат значительно отличались от современных. Первичная атмосфера Земли характеризовалась почти полным отсутствием кислорода, значительным содержа-

нием окиси и двуокиси углерода, аммиака и сероводорода. Активно шли вулканические и грозовые процессы, поставляющие эти газы в атмосферу. При растворении этих газов в соленой воде океана и взаимодействия между ними происходили процессы химического синтеза органических молекул. В ходе эволюции появились живые клетки, способные к фотосинтезу. В процессе фотосинтеза образуется кислород. Чем больше появлялось растений на планете, тем значительно изменялся состав атмосферы. Со временем содержание кислорода существенно увеличилось до 21%, а углекислого газа – уменьшилось до 10%.

Атмосферный фонд  $\text{CO}_2$  в круговороте, по сравнению с запасами углерода в океанах, ископаемом топливе и других резервуарах земной коры, относительно невелик. Углекислый газ из атмосферы в процессе фотосинтеза, осуществляемого зелеными растениями, ассимилируется и превращается в разнообразные органические соединения. Растительные организмы, особенно низшие микроорганизмы, морской фитопланктон, благодаря исключительной скорости размножения, продуцируют в год около  $1,5 \cdot 10^{11}$  т углерода в виде органической массы. Растения частично поедаются животными. В конечном счете, органическая масса в результате дыхания, гниения и горения превращается в углекислый газ или отлагается в виде сапропеля, гумуса, торфа, каменного угля, нефти и т.д. В процессах распада органических веществ, их минерализации, огромную роль играют бактерии, грибы. В активном круговороте «углекислый газ – живое вещество» участвует очень небольшая часть всей массы углерода.

Между углекислым газом атмосферы и водой океана существует подвижное равновесие. Организмы поглощают углекислый кальций, создают свои скелеты, а затем из них образуются пласты известняков. Атмосфера пополняется углекислым газом благодаря процессам разложения органических веществ, карбонатов и т.д. Особенно мощным источником являются вулканы, газы которых состоят главным образом из паров воды и углекислого газа.

С наступлением научно-технического прогресса в сбалансированный поток углерода между атмосферой, материками и океанами начинают поступать в атмосферу большие количества углеродсодержащих веществ, которые не полностью могут связаться растениями. В результате содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере растет, что ведет к увеличению глобальной температуры на планете, к повышению уровня Мирового океана, а также к неблагоприятным последствиям в сельском хозяйстве.

Помимо диоксида углерода в атмосфере в небольших количествах присутствуют оксид углерода  $\text{CO}$  и метан  $\text{CH}_4$ . Эти соединения активно включены в круговорот и поэтому имеют небольшое время пребывания в атмосфере:  $\text{CO}$  – около 0,1 года,  $\text{CH}_4$  – 3,4 года, а  $\text{CO}_2$  – 4 года. Оксид углерода и метан образуются при неполном или аэробном разложении органического вещества и в атмосфере окисляются до  $\text{CO}_2$ .

Метан образуется при разложении органического вещества в болотистых местностях и мелководных морях. Накопление  $\text{CO}$  в глобальном масштабе не представляется реальным, но в городах, где воздух застаивается, имеет место повышение концентрации этого соединения, что негативно влияет на здоровье людей.

### 5.3 Круговорот азота

Азот входит в состав атмосферы в несвязанном виде в форме двухатомных молекул  $\text{N}_2$ . Приблизительно 78% всего объема атмосферы приходится на долю азота. В количественном выражении это составляет  $4 \cdot 10^{15}$  т. Однако ни животные, ни человек, ни растения потреблять молекулярный азот не могут, поэтому он в крайне незначительной степени затрагивается биологическим круговоротом. Общее отношение связанного азота к его количеству в свободном виде составляет 1:1000 000, поэтому азот является наиболее лимитирующим биогенным элементом.

В круговороте азота ключевую роль играют микроорганизмы. Именно они осуществляют основные типы обмена между организмами и средой. Благодаря действию денитрифицирующих бактерий азот постоянно поступает в

атмосферу, а под действием азотфиксирующих бактерий возвращается в круговорот.

Из растений фиксировать азот могут только представители семейства бобовых, на корнях которых образуются клубеньки, состоящие из азотфиксирующих бактерий. Считается, что бактерии переводят в связанную форму приблизительно 1 млрд. т азота в год, промышленная его фиксация составляет около 90 млн. т.

*Типы организмов, фиксирующих азот:*

1. свободно живущие бактерии – *Azotobakter* и *Clostridium* (анаэроб);
2. симбиотические клубеньковые бактерии бобовых растений – *Rhizobium*;
3. цианобактерии – *Anabaena*, *Nostoc* и др.

Кроме жизнедеятельности так называемых азотобактерий, другим источником пополнения азотных соединений почвы являются процессы, происходящие в атмосфере. Это электрические разряды, при которых всегда образуется некоторое количество оксидов азота, которые, соединяясь с атмосферной влагой, дают азотную кислоту, превращающуюся в почве в нитраты.

Из всего азота, который ежегодно усваивается глобальным биотическим сообществом, около 80% возвращается в круговорот суши и воды и только 20% поступает из атмосферы с дождем и в результате фиксации.

В современных условиях человек своей деятельностью оказывает значительное влияние на круговорот азота: увеличивает содержание азота в резервном фонде (сжигание ископаемого топлива, осушение заболоченных земель, обработка почвы и т.д.) и снижает его содержание в атмосфере (выращивание бобовых культур на огромных территориях, техническое связывание азота). Убыль азотных соединений в почве необходимо возмещать соответствующими удобрениями. В основном используют нитрат кальция  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , нитрат аммония  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , нитрат натрия  $\text{NaNO}_3$ , и нитрат калия  $\text{KNO}_3$ .

В последнее время наблюдается повышенное содержание нитратов в питьевой воде и пищевых продуктах, главным образом за счет нерационального использования азотных удобрений в сельском хозяйстве. Опасность нитратов для здоровья людей заключается в их способности превращаться в организме человека в нитриты и далее в нитрозамины, которые способны вызывать онкологические заболевания. Большое количество соединений азота попадает в атмосферу с выхлопными газами от транспорта и от промышленных выбросов. Особенно токсичны оксиды азота  $\text{NO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}$ . Они раздражают дыхательные пути, вызывая серьезные легочные и аллергические заболевания. Реагируя с другими веществами оксиды азота, образуют соединения с синергическим эффектом, когда воздействие продуктов реакции на организмы больше суммарного воздействия каждого из реагирующих веществ в отдельности. Например, под действием ультрафиолетового излучения солнца  $\text{NO}_2$  вступает в реакцию с продуктами неполного сгорания углеводородов. В результате возникает фотохимический смог.

#### 5.4 Круговорот фосфора

Фосфор принадлежит к числу довольно распространенных элементов. Содержание его в земной коре составляет около 0,1 масс.%. Вследствие легкой окисляемости фосфор в свободном состоянии не встречается. Источником фосфора биосферы являются главным образом фосфорит  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  и апатит  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2 (\text{CaCl}_2)$ , встречающийся во всех магматических породах.

Фосфор, как и азот, необходим всем живым существам, так как входит в состав белков. В растениях фосфор содержится в белках семян, в животных организмах – в белках молока, крови, мозговой и нервной тканях. Кроме того, большое количество фосфора содержится в костях позвоночных животных в виде  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . В виде кислотного остатка фосфорной кислоты фосфор входит в состав нуклеиновых кислот, которые принимают непосредственное участие в процессах передачи наследственных свойств живой клетки.

В превращениях фосфора большую роль играет живое вещество. Организмы извлекают фосфор из почвы и водных растворов. Усвоение фосфора растениями во многом зависит от кислотности почвы. Естественное пополнение почвы фосфорными соединениями незначительно, поэтому в нее вносят удобрения. Ежегодно в мире добывают около 125 млн. т фосфатной руды. Большая ее часть расходуется на производство фосфатных удобрений.

Механизмы возврата фосфора в круговорот мало эффективны и не возмещают его потерь. Перенос фосфора с морской водой на сушу не компенсирует его поток в море. Деятельность человека ведет к усиленной потере фосфора, что делает круговорот недостаточно замкнутым. Поэтому возврат фосфора в круговорот имеет большое значение для человечества.

### 5.5 Круговорот серы

Круговорот серы имеет ряд характерных особенностей:

1. обширный резервный фонд в почвах и меньший – в атмосфере;
2. ключевая роль в быстро обмениваемом фонде микроорганизмов, выполняющих определенную работу в окислении или восстановлении;
3. микробная регенерация из глубоководных отложений, в результате которой вверх движется газовая фаза ( $\text{H}_2\text{S}$ ).
4. взаимодействие геохимических и метеорологических процессов с биологическими процессами;
5. взаимодействие воздуха, воды и почвы в регуляции круговорота в глобальном масштабе.

Основная доступная форма серы –  $\text{SO}_4^{2-}$  - восстанавливается автотрофами и включается в белки. Для растений серы требуется меньше, чем азота и фосфора, поэтому лимитирующим фактором она бывает реже. Тем не менее, круговорот серы – ключевой в общем процессе продуцирования и разложения биомассы.

В последнее время на круговорот серы все большее влияние оказывает промышленное загрязнение атмосферы. В связи с неумеренным сжиганием топлива содержание в воздухе  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{SO}_2$ , особенно в крупных промышлен-

ных центрах, увеличилось до концентраций, представляющих опасность для важных биотических компонентов экосистем. Особенно большой вред наносит  $\text{SO}_2$  растениям. Реагируя с водяным паром, он образует серную кислоту, которая выпадает с осадками в виде кислотных дождей. Попадая на листовую поверхность,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  вызывает химические ожоги, что снижает фотосинтезирующую поверхность растений.

## 6 Биогеоценоз и его составляющие

Термин “биогеоценоз” образован от греч. “биос” – жизнь, “гео” – земля и “ценоз” – сообщество. Впервые термин “биогеоценоз” был предложен русским ученым-почвоведом академиком В. Н. Сукачевым в 1940 году. Согласно определению В. Н. Сукачева, **биогеоценоз** – это сложившаяся в процессе эволюции пространственно ограниченная однородная природная система функционально взаимосвязанных живых организмов и окружающей их неживой среды. Говоря иначе, **биогеоценоз** – это конкретный однородный участок земной поверхности, на котором взаимодействуют живое и косное вещества биосферы, объединенные обменом веществ и энергии в единый природный комплекс.

***Биогеоценоз*** состоит из следующих компонентов (рис.2):

1. *Фитоценоз* – растительные сообщества (растительность, флора).
2. *Зооценоз* – животный мир (животные, фауна).
3. *Микробоценоз* – микроорганизмы.
4. *Эдафотоп* – почва с подпочвенными слоями горных пород (грунтом) и почвенно-грунтовыми водами.
5. *Климатоп* – атмосфера с содержащимися в ней кислородом, углекислым газом, влагой, осадками.

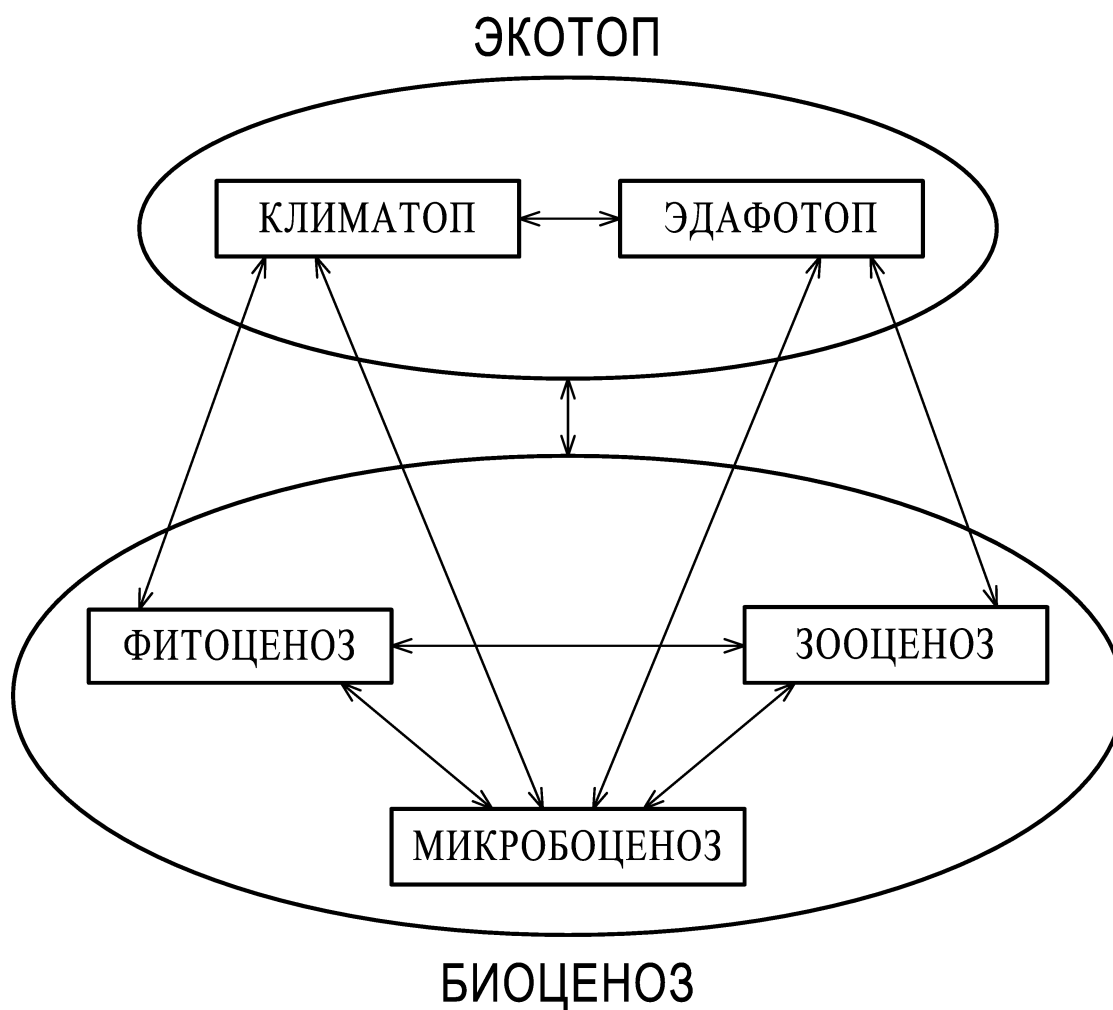


Рис.2 Структура биогеоценоза.

Первые три компонента биогеоценоза образуют в результате взаимодействия биологическое единство – *биоценоз*. Последние два компонента биогеоценоза образуют косное единство – *экотоп*.

Каждый биогеоценоз отделен от других границами, которыми служат границы растительных сообществ однородного видового состава и строения в закономерном сочетании. Обычно границы растительных сообществ совпадают с природными географическими зонами, вследствие чего различают биогеоценозы тундры, лесов, степей, пустынь, болот, озер и т.д.

Основой существования биоценоза как основной части экосистемы является его **биоразнообразие**, так как оно ведет к повышению его устойчивости.



## 7 Экосистемы и их устойчивость

В последнее время в научной литературе все чаще вместо термина “биогеоценоз” употребляют термин “экосистема”. Действительно, они очень близки, однако не являются синонимами. Термин “экосистема” (экологическая система) был предложен английским ученым-ботаником А. Тенсли в 1935 году. Согласно определению, **экосистема – это сообщество живых организмов и среда их обитания, которые функционируют совместно и связаны между собой взаимным обменом веществ и энергии.**

Экосистема – понятие более широкое: границы экосистемы, в отличие от границ биогеоценоза, определяются только содержанием исследуемого сообщества живых организмов и среды его обитания. То есть, каждый биогеоценоз может быть назван экосистемой, но не каждая экосистема является биогеоценозом.

### Свойства экосистем.

1. **Эмерджентность** (от англ. *emergence* – неожиданно возникающий) системы – степень несводимости свойств системы к свойствам составляющих ее элементов. Свойства системы зависят от особенностей взаимодействия между ними (например, явление синергизма).

Наглядно иерархию природных экосистем можно представить в виде уровней их биологической организации (рис. 3), из которой видно, что меньшие подсистемы составляют большие системы, сами являющиеся подсистемами более крупных систем. При этом свойства каждого отдельного уровня значительно сложнее и многообразнее предыдущего и нельзя предсказать свойства каждого последующего биологического уровня исходя из свойств отдельных составляющих его более низких уровней.

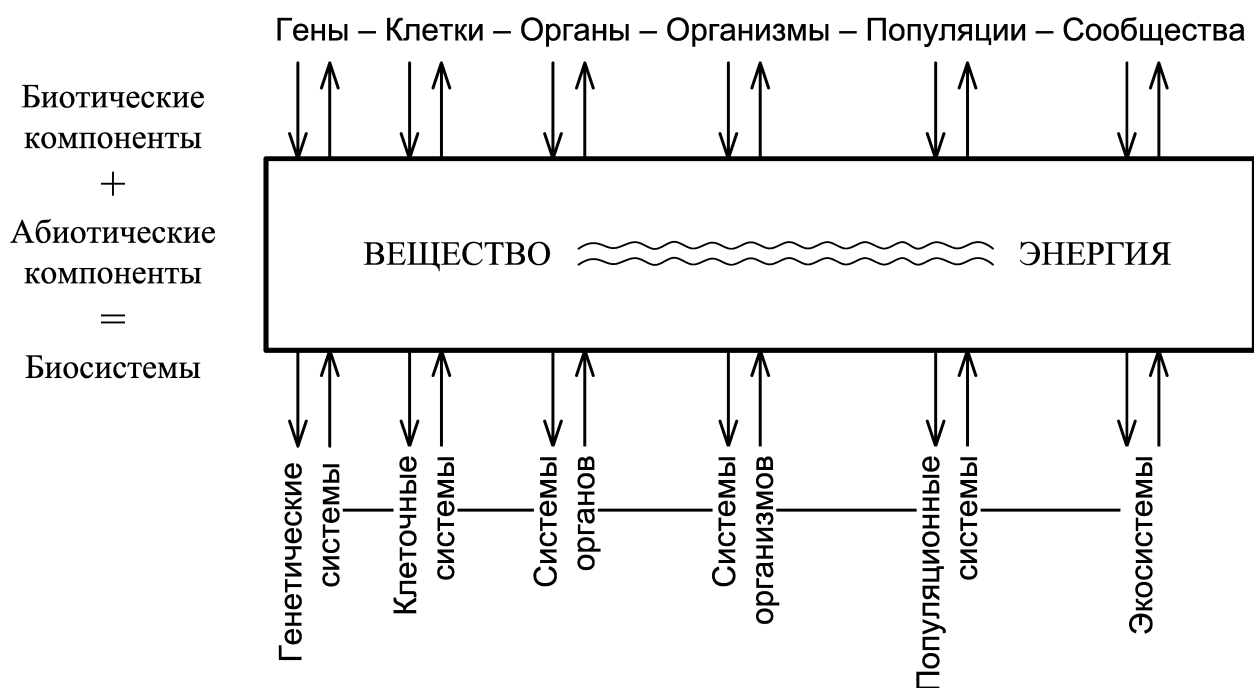


Рис. 3. Спектр уровней биологической организации.

2. **Принцип необходимого разнообразия элементов** заключается в том, что любая система не может состоять из абсолютно одинаковых элементов, более того, разнообразие элементов, ее составляющих, является необходимым условием функционирования. Нижний предел равен двум, верхний - стремится к бесконечности.
3. **Принцип неравновесности** сводится к тому, что системы, функционирующие с участием живых организмов, являются открытыми, поэтому для них характерно поступление и отток энергии и вещества, что невозможно осуществить в условиях равновесного состояния. Следовательно, любая экосистема представляет собой открытую, динамическую, неравновесную систему.
4. **Устойчивость динамической системы и ее способность к самосохранению** зависит от преобладания внутренних взаимодействий над внешними. **Устойчивость** - способность системы противостоять изменениям, возвращаясь в исходное состояние благодаря действию ряда механизмов. В основе устойчивости системы лежит **принцип Ле Шателье-Брауна**: при внешнем воздействии на систему, выводящем ее из состояния устойчивого равновесия, последнее смещается в том направлении, при котором эффект

воздействия ослабляется. Компенсация возмущений средой происходит за счет направленного соотношения между синтезом и разложением органических веществ.

**5. Принцип эволюции** – возникновение, существование и развитие всех экосистем обусловлено эволюцией. Динамические самоподдерживающиеся системы эволюционируют в сторону усложнения и возникновения системной иерархии (образование подсистем). Эволюция любой экосистемы ведет к увеличению суммарного потока энергии, проходящей через нее.

#### **Классификация экосистем по размеру:**

1. Микроэкосистема (ствол гниющего дерева, аквариум).
2. Мезоэкосистема (пруд, озеро).
3. Макроэкосистема (континент, океан).
4. Глобальная экосистема (биосфера Земли).

#### **Классификация экосистем по объекту исследования:**

##### **1. Наземные экосистемы:**

- 1.1. *тундра;*
- 1.2. *хвойные леса;*
- 1.3. *листопадный лес умеренной полосы;*
- 1.4. *тропический грасленд и саванна;*
- 1.5. *чапараль – районы с дождливой зимой и засушливым летом;*
- 1.6. *пустыня: тропическая и кустарниковая;*
- 1.7. *полувечнозеленый тропический лес: влажный и сухой;*
- 1.8. *вечнозеленый тропический дождевой лес.*

##### **2. Пресноводные экосистемы:**

- 2.1. *лентические (стоячие воды): озера и пруды;*
- 2.2. *лотические (текущие воды): реки и ручьи;*
- 2.3. *заболоченные угодья: болота и болотистые леса.*

##### **3. Морские экосистемы:**

- 3.1. *открытый океан (пелагическая экосистема);*
- 3.2. *воды континентального шельфа (прибрежные воды);*

3.3. *районы анвеллинга с продуктивным рыболовством (плодородные районы);*

3.4. *эстуарии (прибрежные бухты, проливы, устья рек, соленые марши и т.д.).*

## **8 Структура экосистем. Экологические пирамиды**

### **Структура экосистем с биологической точки зрения:**

1. неорганические вещества, включающиеся в круговорот;
2. органические соединения, связывающие биотическую и абиотическую части;
3. воздушная, водная и субстратная среды, а также климатический режим и другие физические факторы среды;
4. продуценты;
5. консументы;
6. редуценты.

### **Трофическая структура экосистем по вертикали:**

1. верхний – автотрофный (самостоятельно питающийся) ярус, или «зеленый пояс», включающий растения либо их части, содержащие хлорофилл, где преобладает фиксация энергии Солнца, используются простые неорганические вещества, и происходит накопление сложных органических соединений;
2. нижний – гетеротрофный (питаемый другими) ярус, или «коричневый пояс» почв и осадков, разлагающихся частей отмерших организмов, в котором преобладают использование, трансформация и разложение сложных соединений.

Особенно четко эти два трофических яруса представлены в глубоководных водоемах (океанах, морях, озерах).

Основным условием функционирования любой экосистемы является наличие в ней взаимосвязей (взаимодействия) живых организмов между собой и с окружающей их внешней средой. Самый распространенный и важ-

ный тип взаимодействия базируется на интересах питания и носит название пищевой или трофической структуры экосистемы (от греч. “трофе” – питание).

Все компоненты экосистем находятся в состоянии постоянного обмена веществом и энергией. Источник энергии для Земли – Солнце. Энергия солнечного излучения включается в биологический круговорот через фотосинтез. Используя солнечную энергию, продуценты создают из них сложные органические соединения, из которых строят свой организм. Более половины этой энергии расходуется на дыхание, другая часть переносится по пищевым цепям экосистемы.

При поедании травоядными животными (консументами I – порядка) растений большая часть энергии пищи расходуется на различные процессы жизнедеятельности. Энергия превращается при этом в тепло и рассеивается. В природе лишь 10% энергии пищи переходит во вновь построенное вещество тела животного следующего трофического уровня.

На каждом трофическом уровне экосистемы можно произвести подсчет количества видов, пищи, энергии и построить экологические пирамиды. В зависимости от используемой информации различают несколько типов таких пирамид.

**Пирамиды численности** отражают соотношение разных видов организмов в экосистемах (рис. 4). Например, в небольшом пруду 1 млн. особей фитопланктона может прокормить 10000 особей зоопланктона, которые, в свою очередь, прокормят 100 окуней. Этого числа окуней достаточно, чтобы прокормить 1 человека в течение 1 месяца.

При продвижении к более высоким трофическим уровням пирамида численности сужается (рис. 4, а). Для некоторых экосистем они могут иметь другую форму. Например, в лесу несколько больших деревьев снабжают пищей огромное количество насекомых и птиц – консументов 1-го порядка (рис. 4, б).

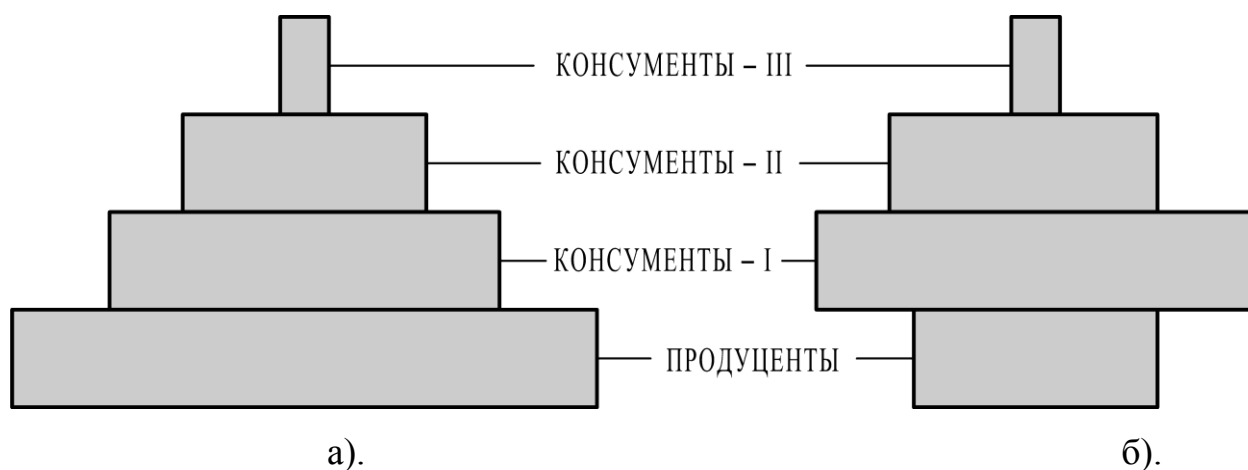


Рис. 4. Пирамиды численности.

**Пирамиды биомассы** строят исходя из информации о весе каждой особи (рис. 5). Общая биомасса растений в несколько раз больше, чем биомасса растительноядных животных. Биомасса животных каждого последующего трофического уровня уменьшается, поэтому пирамиды биомассы всегда сужаются от продуцентов к консументам. Наиболее резкое уменьшение биомассы происходит, когда хищники поедают мелких травоядных.

**Пирамиды потока энергии** составляют по расходу энергии пищи, исходя из информации о количестве употребляемой пищи (рис. 6).

Расчеты экологических пирамид помогают контролировать развитие экосистем. Они позволяют охотоведам и лесникам контролировать количество животных и растений.

В настоящее время воздействие человека на природные экосистемы привело к тому, что они начали терять способность к самовосстановлению. Подсчитано, что биосфера может компенсировать любые возмущения, производимые человеком, доля потребления которого не превышает 1 % продукции биосферы. Сейчас человек изымает около 10 %. Таким образом, социально-экономическое развитие общества пришло в явное противоречие с ограниченными ресурсопроизводящими и жизнеобеспечивающими возможностями биосферы. В результате происходит быстрое истощение естественных ресурсов, исчезновение видов растений и животных, загрязнение окружающей среды, упрощение и деградация экосистем.

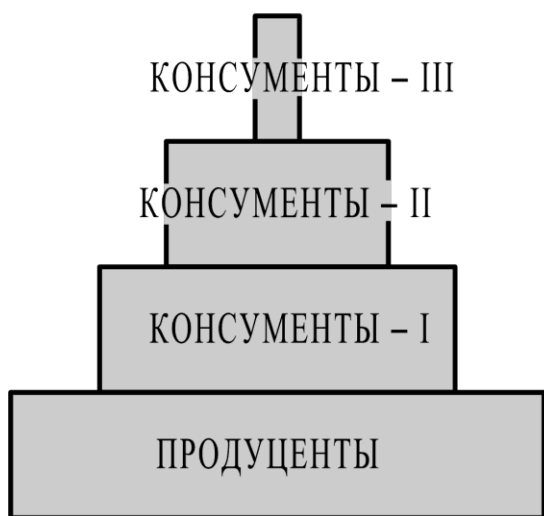


Рис. 5. Пирамиды биомассы.



Рис. 6. Пирамиды потока энергии.

## 9 Сукцессии

Развиваясь во времени, экосистемы становятся все более сложными, поскольку в относительно стабильных условиях основным направлением эволюции оказывается *специализация*. Все большее число видов приспосабливается к наиболее эффективному использованию узкого набора источников вещества и энергии (занимает узкие *экологические ниши*), избегая, таким образом, жесткой конкуренции с другими видами. Такие виды, называемые в экологии *стенобионтами* (от греческого «стенос» - узкий), отличаются от *эврибионтов* («эврис» - широкий) более высокой эффективностью использования ресурсов за счет значительного снижения их числа.

В длительные периоды относительно спокойного развития процессов в земной коре виды-эврибионты, не выдерживая конкуренции с высокоспециализированными стенобионтами, снижали численность и вымирали или вытеснялись на границы благоприятных для жизни территорий – в зоны засушливые, холодные и т.п., где их способность использовать разнообразные ре-

сурсы или возникшие специальные приспособления давали преимущества перед стенобионтами.

При смене спокойного периода «катастрофическим» тенденции эволюции видов и экосистем меняются. Высокоспециализированные виды, не способные пойти по пути деспециализации, под жестким действием лимитирующих факторов снижали численность до критического уровня быстрее, чем могли накопить новые приспособления. Начиналось массовое вымирание видов и упрощение экосистем, в которых все большую роль начинали играть малоспециализированные эврибионты.

Таким образом, экосистемам свойственна способность разрушаться и восстанавливаться после разрушения. Такая закономерная смена экосистем называется *сукцессией* (от английского succession - последовательность). Сукцессия является важнейшей особенностью экосистем. В природных условиях сукцессия занимает обычно несколько сотен, а иногда и тысяч лет. При этом соблюдается принцип преемственности. **Сукцессия** – это необратимый, постепенный процесс, приводящий к изменению флористического и фаунистического состава, а также самой структуры сообщества.

Причина изменения характера и структуры биогеоценоза может быть, как внешней (например, изменение климата), в этом случае имеет место *аллогенные сукцессии*, так и внутренними (например, при изменении плотности популяции), в этом случае сукцессии называются *автогенными*. Автогенные сукцессии могут быть двух основных типов: первичные и вторичные.

*Первичные* сукцессии – это процесс формирования сообществ живых организмов в таких условиях, в которых они до этого отсутствовали (например, на вновь поднявшихся с океанического дна островах вулканического происхождения).

*Вторичные* сукцессии – это процесс восстановления и формирования новых сообществ в условиях, в которых они (сообщества) прежде существовали, но были уничтожены. Примером может служить восстановление растительности на выжженных участках степи.



Если сукцессия происходит естественным образом и вызвавшие ее причины не связаны с тем или иным видом деятельности человека, то она называется *природной* сукцессией. Если же изменения в биогеоценозе обусловлены деятельностью человека, то в этом случае говорят об *антропогенной* сукцессии.

Сукцессионные изменения происходят обычно до тех пор, пока не сформируется стабильная экосистема, производящая максимальную биомассу на единицу энергетического потока. Примером сукцессии может служить процесс изменения характера и структуры биогеоценоза при опустынивании степей, саванн, а также процесс зарастания озера и образования болота, а затем и леса на его месте.

Сукцессионные процессы еще недостаточно изучены, но их познание необходимо не только для управления восстановлением лесных и других биологических ресурсов, но и для эффективного восстановления тех экосистем, которые сильно разрушены воздействием человека, и для возвращения им утерянного биологического разнообразия. Кроме того, с уменьшением видового разнообразия жизни на Земле могут помочь генетические *криобанки*, создание которых только начинается. В настоящее время найдены естественные и искусственные криопротекторы – вещества, влияющие на кристаллообразование льда в цитоплазме и предотвращающие таким образом образование крупных кристаллов, разрушающих клеточные структуры. Преимущество криобанков в том, что при температуре жидкого азота практически исключаются мутации в молекулах ДНК под действием «теплового шума», поэтому генетические материалы могут храниться без нарушений в течение десятков и сотен лет, а при защите от радиоактивного фона и космических лучей – до 3 тысяч лет. Кроме того, емкость криохранилищ может быть легко увеличена.

Для разумной организации работ по восстановлению видов важно ясное понимание не только значения, но и биологического смысла биоразнообразия.

### **Типы биоразнообразия:**

1. **Таксонометрическое** – выражается перечнем (списком) видов, обитающих на той или иной территории, и отражает как эволюционную историю видов, так и современные экологические условия территории.
2. **Экологическое** – учитывает соотношение численности близких и далеких по требованиям к условиям среды видов или групп видов, позволяя отличать территории благоприятные для увеличения таксономического разнообразия и неблагоприятные.
3. **Генетическое** – выражается объемом аллелофонда (резерва наследственной изменчивости), который определяет приспособительные и эволюционные возможности вида.

Все составные части биологического разнообразия взаимосвязаны и должны учитываться при организации работ по восстановлению и возвращению исчезающих видов в природу.

## **10 Искусственные экосистемы**

### **10.1 Агроэкосистемы.**

**Агроэкосистемы** – искусственно созданные системы для производства продуктов питания. Неотъемлемую часть агроэкосистем составляет автотрофный компонент, или зеленый пояс. Агроэкосистемы отличаются от естественных экосистем следующим:

- они получают дополнительное количество энергии в виде мышечных усилий человека и животных, удобрений, пестицидов, работы машин и т.д.;
- разнообразие организмов в них резко снижено с ориентацией на получение максимального количества определенного продукта.
- доминирующие виды растений и животных в агроэкосистемах произошли вследствие искусственного, а не естественного отбора.

Под агроэкосистемами занято около 30% площади суши, из которых пахотные земли занимают 10%, пастбища – 20%.

### Типы агроэкосистем:

1. *Агроэкосистемы доиндустриального периода* – самостоятельные, с использованием дополнительной энергии в виде мышечных усилий человека и животных.
2. *Интенсивные механизированные агроэкосистемы* – с крупными энергетическими дотациями в форме горючего, химикатов, производящие продукты питания в объеме, значительно превышающем местные потребности.

Около 60% пахотных земель мира обрабатываются доиндустриальным способом. Доиндустриальные системы сельского хозяйства часто называют «примитивными» или «ориентированными на выживание». Однако эти системы зачастую достаточно сложны, эффективны с точки зрения энергозатрат и часто гармонируют с природными экосистемами. Количество продуктов питания, производимых на единицу площади, в доиндустриальной агроэкосистеме значительно меньше, чем в индустриальной.

Анализируя воздействие человека на природную среду и ресурсы, следует учитывать, что земледелие развитых стран для производства продуктов питания потребляет очень большое количество энергии и средств химизации. Урожаи получаются близкими к максимальным. Вместе с тем дальнейшее увеличение вкладов в отрасль может привести к уменьшению выхода продукции. Согласно концепции лимитирующих факторов, увеличение благоприятных для роста продуктивности экосистемы условий может быть ограничивающим условием. Например, если вносить удобрения в возрастающих количествах, урожай может увеличиваться до какого-то оптимального уровня. Дальнейшее внесение удобрений не только не приведет к увеличению урожая, но может способствовать и его снижению.

#### 10.2 Космические экосистемы

Человек может продлить жизнь живой природы и снять пространственные ограничения, перенося биосферу в космические пространства, только в тесном союзе с природой, делая обдуманый, научно обоснованный выбор совокупности различных факторов. В действительности Жизнь на

Земле своим происхождением обязана не только самой планете, но и всему комплексу обстоятельств, сложившихся в данном регионе Галактики, связанных с пространством и временем. Человечество должно использовать все доступные средства для выполнения миссии сохранения живой природы планеты и осуществить проникновение в космосферу.

Для того чтобы способствовать распространению биосферы Земли в космосе и достичь обоснования ее на других планетах, мировое сообщество прилагает усилия, направленные на создание новых моделей биосферы того мира, в котором мы живем сегодня. Такие модели откроют возможности изучить процесс эволюции живой природы в новых экологических условиях и сделать шаги к созданию космических биосфер будущего. Одной из этих попыток является разработка экспериментальной биосферы - "Биосфера 2", призванной решить проблему создания улучшенного местообитания человека на Земле и в Космосе.

Очевидно, что для получения возможности обоснования жизни в других районах Вселенной необходимы сложные саморазвивающиеся биосферы. Используя математическое моделирование и современную научную базу изучения состояния природной среды, а также всего генетического богатства биосферы Земли в 1984 г. сделана попытка создания экспериментального комплекса "Биосфера 2" в штате Аризона (США) на площади 2,5 акра (1 га) экологической системы с замкнутым циклом и регенерацией отходов. В комплексе размещены различные биомы: влажный тропический лес, саванна, океан, болота, пустыни, сельскохозяйственные угодья и города. Подобные биосферы, по мнению авторов проекта (фирма "Спейс биосферес венчес" США), могут представлять долговременные, саморегулирующиеся комплексы, в которых поддерживаются условия для жизнедеятельности организмов. Эти системы открывают путь к созданию постоянно обитаемых космических поселений, которые могут быть расположены в космическом пространстве в условиях невесомости или на поверхности других планет.

Целью создания "Биосферы 2" и изыскания опыта проектирования и

конструирования других жизнеспособных биосфер, стало стремление предоставить биосфере Земли реальные возможности в случае возникновения экстремальных условий (а такие условия в связи с загрязнением планеты уже формируются), обеспечить подходящие для жизни новые условия. Сначала такие места могут быть определены в Солнечной системе, далее в нашей Галактике, позже во всей Вселенной.

## 11 Популяции

**Популяция** – это естественные группировки особей одного вида, заселяющих общие места обитания и связанные общностью генофонда и функциональными закономерными взаимодействиями. Определенные природные условия и место популяции в биоценозе и экосистеме называется **экологической нишей** данной популяции. Каждая популяция обладает определенными признаками, которые характеризуют ее как целое.

### Основные свойства популяций.

1. **Плотность популяции** – это число особей (или биомассы) данной популяции, приходящееся на единицу площади (или объема).
2. **Рождаемость** – свойство популяции увеличивать свою численность.
3. **Смертность** – это свойство популяции уменьшать свою численность за счет гибели особей или эмиграции.
4. **Выживаемость** – число особей (в процентах), сохранившихся в популяции за определенный промежуток времени.
5. **Скорость роста популяции** – это изменение ее численности в единицу времени.
6. **Стратегия популяций** связана с типом роста их численности: Различают два типа роста популяций:
  - **экспоненциальный** тип характеризуется низкой смертностью в детском возрасте и отсутствием конкуренции, высокой плодовитостью, быстрым размножением, коротким периодом индивидуального развития, малыми разме-

рами особей, но слабой конкурентоспособностью, отсутствием заботы о потомстве. Такие популяции быстро расселяются и занимают обширные нестабильные территории, но малоустойчивы и не могут становиться доминантами в сообществах (рис. 7).

- **логистический** тип характеризуется высокой смертностью молодых особей или их зачатков (яйца, икринки, споры, семена и т.д.) и значительными периодическими колебаниями численности, которые бывают сезонными (насекомые), взрывными (леменги, белки) и сглаженными (крупные млекопитающие). Популяции с логистическим типом роста характеризуются большой конкурентоспособностью, населяют стабильные места обитания (рис. 8).

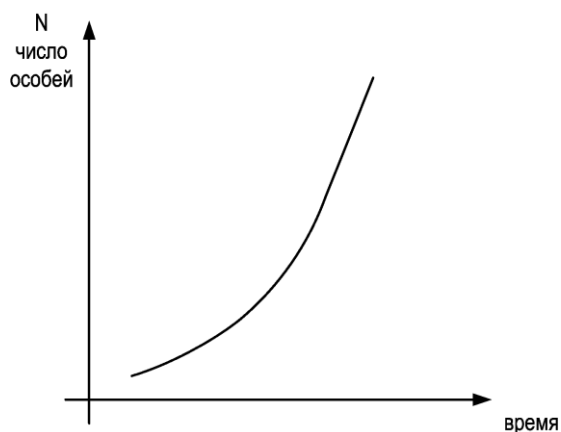


Рис. 7. Экспоненциальный тип роста популяций.

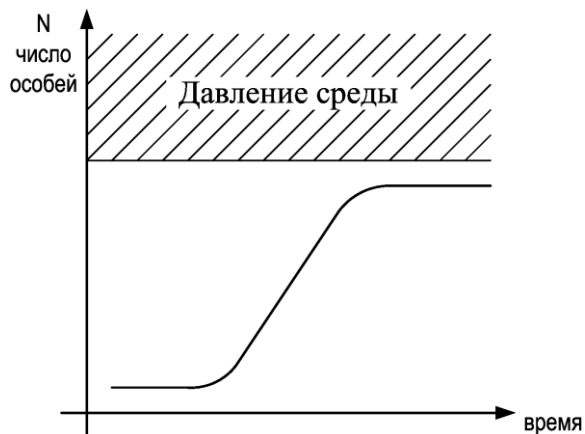


Рис. 8. Логистический тип роста популяций.

Каждой популяции свойственен **биотический потенциал**, под которым понимают теоретически возможное потомство от одной пары особей при реализации способности организмов к биологически обусловленному размножению. Биотический потенциал тем выше, чем ниже уровень организации организмов.

Периоды резкого изменения численности носят название «*популяционных волн*», «*волн численности*», «*волн жизни*». Они связаны со следующими факторами: пищевыми, погодными (количество тепла), солнечной активностью.

Резкое увеличение численности популяции приводит к ряду отрицательных последствий:

- ослабление всех особей в результате недостатка пищи,
- самоотравление среды,
- возможность массовых заболеваний.

Проблему выживания малых популяций помогает решить определение величины эффективной численности ( $N_e$ ). **Эффективная численность** - это численность особей, оставляющих потомство и вносящих свой вклад в генофонд следующего поколения.

Вероятность выживания зависит от коэффициента *инбридинга* (числа близкородственных скрещиваний, в отличие от панмиксиса – свободного скрещивания) и уровня *инбредной депрессии* (снижения жизнеспособности вследствие близкородственного скрещивания у организмов с половым размножением), величина которых при длительном размножении в малочисленной популяции возрастает тем быстрее, чем меньше  $N_e$ .

Очевидно, что устойчивость и жизнеспособность отдельной особи и популяции в целом зависит от их способности к адаптации.

#### **Типы адаптации:**

1. **Пассивный тип** - по принципу толерантности. Формируется как характерное видовое свойство и реализуется преимущественно на клеточно-тканевом уровне.
2. **Активный тип** – формирование организмом специфических адаптивных механизмов, которые компенсируют изменения, вызванные воздействующим фактором, таким образом, что внутренняя среда остается относительно постоянной.

#### **Уровни адаптации:**

1. Механизмы, обеспечивающие адаптивный характер общего уровня стабилизации отдельных функциональных систем и организма в целом по отношению к наиболее устойчивым параметрам среды обитания.

2. Лабильные реакции, поддерживающие относительное постоянство общего уровня стабилизации путем включения адаптивных функциональных реакций при отклонении конкретных условий среды от средних характеристик.

Эти два уровня отражают «стратегию» и «тактику» адаптивного процесса и соответствуют масштабам колебаний внешних условий.

#### **Классификация популяций по способности к самовоспроизведению.**

1. **Перманентная популяция** – это саморегулирующаяся система родственных между собой особей, относительно устойчивая в пространстве и во времени, способная к неограниченно длительному самовоспроизведению. Такие популяции являются элементарными единицами эволюции.

2. **Темпоральная популяция** – это неспособная к длительному самовоспроизведению, неустойчивая в пространстве и во времени система. Они не могут долго существовать независимо от перманентных, с течением времени могут преобразовываться в перманентные.

#### **Классификация популяций по способу размножения.**

1. **Панмиктические** – популяции, состоящие из особей, размножающихся половым путем, для которых характерно перекрестное оплодотворение.

2. **Клональные** – популяции, состоящие из особей, для которых характерно только бесполое размножение.

3. **Клонально-панмиктические** – это популяции, в которых сочетаются половое размножение с бесполом.

#### **Классификация популяций по возрастным характеристикам.**

1. **Нормальная** – это наиболее жизнеспособная популяция, в которой все возраста представлены относительно равномерно.

2. **Регрессивная** (вымирающая) – это популяции с преобладанием старческих особей.

3. **Внедряющаяся** (инвазионная) – это популяции, представленные молодыми особями.



## 12 Взаимоотношения между организмами

Структурно-функциональной подсистемой популяции является *отдельный организм*, который представляет собой конкретную единицу обмена веществ, находящейся в тесных взаимосвязях с внешними условиями и с более крупными биологическими системами. Основой свободы и независимости живых организмов в изменчивых условиях среды является стабильность физико-химических условий во внутренней среде.

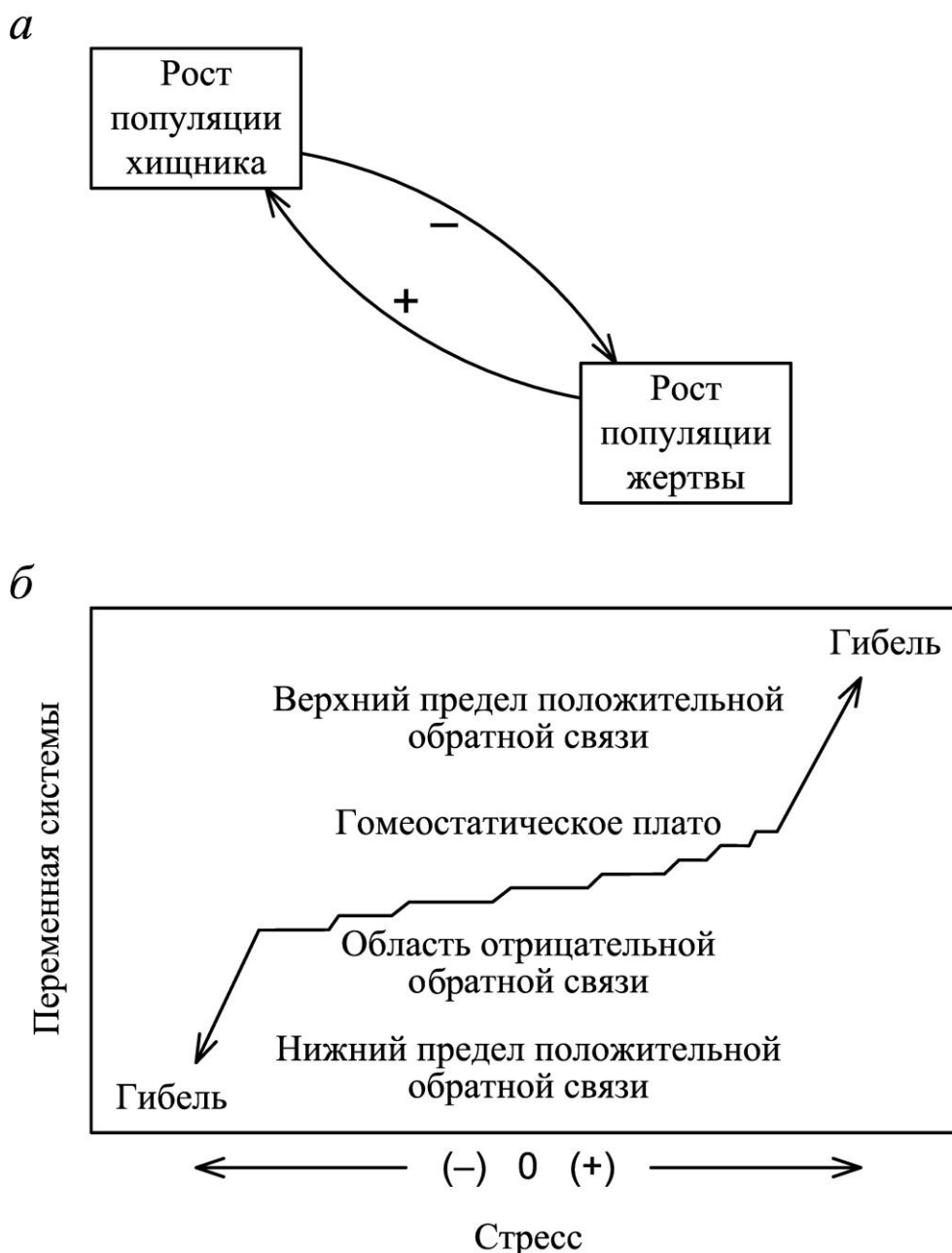


Рис. 9. Схема саморегулирующегося гомеостаза.

Способность организма как целого поддерживать постоянство внутренней среды называется **гомеостазом** (от греческого *homoios* - одинаковый). Этот термин ввел У. Кеннон в 1929 г. Саморегулирующийся гомеостаз на экосистемном уровне обеспечен множеством управляющих механизмов, один из которых – обратная связь. Она обеспечивает управление между условно выделенными объектами посредством положительных и отрицательных связей. Положительная обратная связь «усиливает отклонение», например, увеличивает количество одного из объектов. Отрицательная обратная связь «уменьшает отклонение», например, уменьшает количество другого объекта за счет увеличения первого. Эта схема (рис. 9) отлично иллюстрирует процесс коэволюции в системе «хищник-жертва».

Выделяют также **популяционный гомеостаз**, под которым понимают способность популяции поддерживать свою численность в определенных границах значений. Место вида в природе, включающее как положение его в пространстве, так и его функциональную роль в сообществе, отношение к абиотическим условиям существования называют **экологической нишей**. Если экологическая ниша определяется только физиологическими особенностями организма, то ее называют *фундаментальной*, а ту, в пределах которой вид реально встречается в природе – *реализованной*. Реализованная ниша – это та часть фундаментальной ниши, которую данный вид, популяция в состоянии «отстоять» в конкурентной борьбе. Конкуренция – это отрицательные взаимодействия двух организмов, стремящихся к одному и тому же (Ю. Одум, 1975 г.). Выделяют следующие **механизмы популяционного гомеостаза**:

1. *Межвидовой* (хищник – жертва, паразит – хозяин) – это любое взаимодействие между популяциями, которое вредно сказывается на их росте и выживании. Конкуренция проявляется в виде борьбы видов за экологические ниши.
2. *Внутривидовой* – заключается в конкуренции между особями одного вида:
  - а). жесткая форма (самоизреживание фитоценозов, канибализм),

б). смягченные формы:

- исключение из процесса размножения,
- выделение во внешнюю среду веществ, которые мешают росту молодых особей (деревья),
- явление территориальности,
- стрессовые явления, которые снижают репродуктивную функцию.

в). миграция.

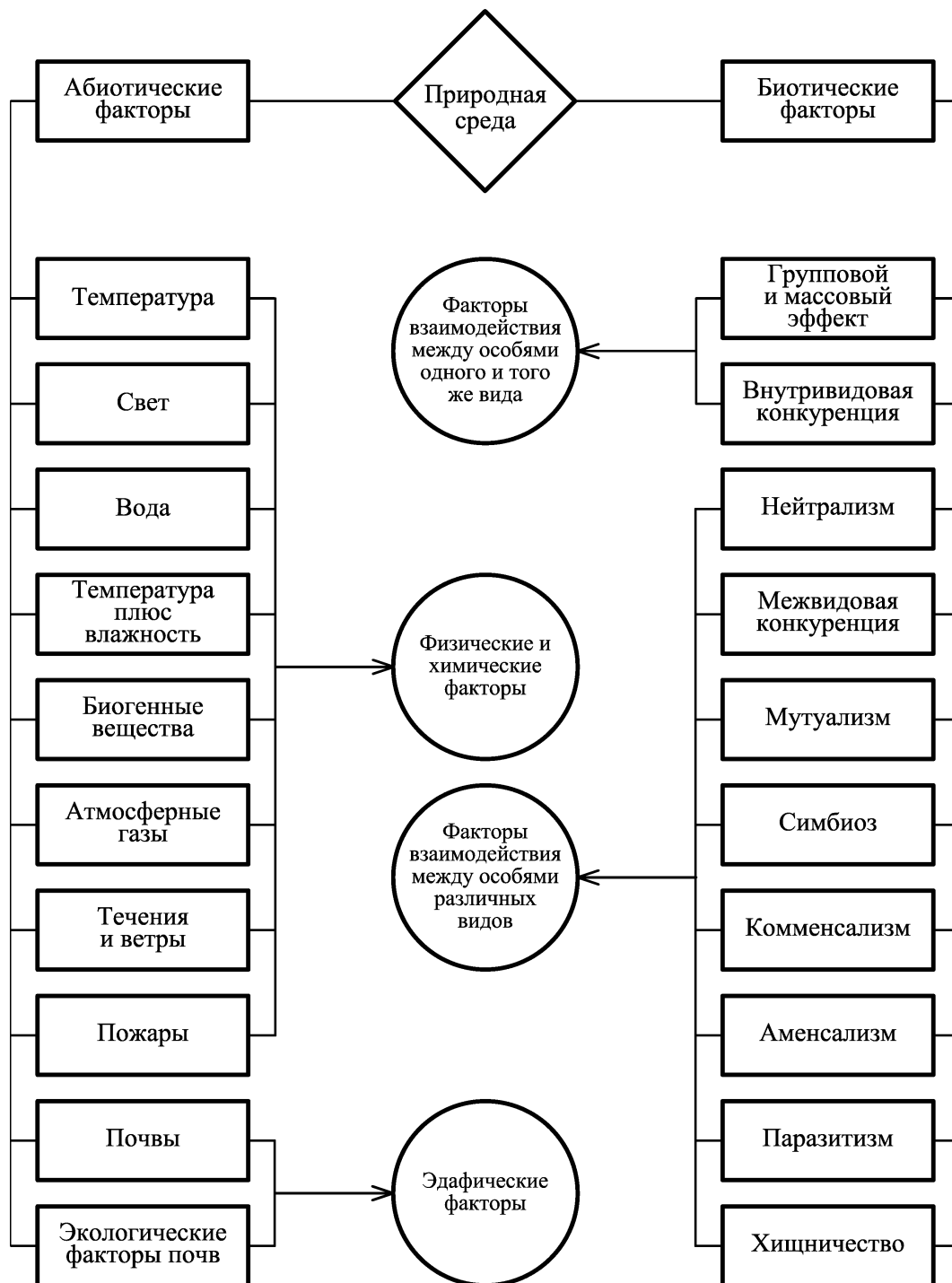


Рис. 10. Взаимоотношения между организмами и факторами среды.

Гомеостазированность организма создает предпосылки для использования его другими живыми существами в качестве среды постоянного или временного обитания (вирусы, паразиты, симбионты).

Живые организмы находятся друг с другом в определенных отношениях. Эти отношения могут быть либо *симбиотическими*, либо *антибиотическими*. Но может быть и так, что совместно обитающие на одной территории организмы не влияют друг на друга. Такая форма отношений называется *нейтрализмом*.

**Симбиотическими** называют отношения в сообществе, при которых участники извлекают от совместного сожительства определенную пользу или хотя бы не вредят друг другу. К симбиотическим относят следующие формы отношений:

1. *Собственно симбиоз* (кооперация) – взаимовыгодное, но не обязательное сосуществование организмов, пользу из которых извлекают все участники (раки-отшельники и актинии).
2. *Мутуализм* – особая форма симбиотических отношений, при которой либо один из партнеров, либо оба не могут существовать без сожителя (травоядные копытные и микроорганизмы, обитающие в их желудке и кишечнике).
3. *Комменсализм* – один из партнеров получает пользу от сожительства, а другому присутствие первого безразлично:
  - синойкия (квартиранство), например, актинии и рыбки;
  - трофобиоз (нахлебничество, например, хищники и падальщики).

**Антибиотическими** являются взаимоотношения между организмами, при которых один или же оба участника испытывают отрицательное воздействие партнера:

1. *Хищничество* – это особая форма отношений, при которой один из участников (хищник) умерщвляет другого и использует его в качестве пищи.
2. *Паразитизм* – взаимоотношения, при которых паразит не убивает сразу своего хозяина, а длительное время использует его как источник пищи.

3. *Конкуренция* – это тип отношений, при котором организмы соперничают друг с другом (межвидовая и внутривидовая).
4. *Аменсализм* – это взаимоотношения, при которых один организм подавляет жизнедеятельность другого, не испытывая при этом никаких отрицательных влияний со стороны подавляемого. Частным случаем аменсализма является *аллелопатия* – влияние одного организма на другой, при котором во внешнюю среду выделяются продукты жизнедеятельности одного организма, отравляя ее и делая непригодной для жизни другого. Это явление распространено среди растений, и его особенно важно учитывать при совместном выращивании с/х культур.

Таким образом, взаимоотношения между организмами тесно связаны с факторами природной среды, что можно отразить схемой, представленной на рис. 10.

### **13 Понятие экологического фактора, основные закономерности**

Среда обитания любого живого организма – это совокупность условий его жизни. Успех выживания живых организмов и их процветание зависят от их приспособленности к условиям среды обитания. **Условия среды обитания (т. е. компоненты внешней среды), которые оказывают прямое или косвенное воздействие на живые организмы на протяжении хотя бы одного цикла индивидуального развития, называются экологическими факторами.**

Существует несколько классификаций экологических факторов: по “критерию жизни”, по свойствам, по отношению к экосистеме и др. Классификация по “критерию жизни” подразумевает деление экологических факторов на биотические и абиотические.

**Биотическими факторами** называют совокупность влияний жизнедеятельности одних организмов на жизнедеятельность других организмов, а также на неживую среду обитания. Например, растения выделяют кислород,

необходимый для дыхания животных, а животные обеспечивают поступление в атмосферу  $\text{CO}_2$ , который используется растениями в процессе фотосинтеза; одни живые существа служат пищей для других живых существ и т.п.

**Абиотическими факторами** называют совокупность неорганических (неживых) компонентов экосистемы и внешней среды, влияющих на жизнедеятельность живых организмов. К ним относятся температура, влажность воздуха, давление, сила ветра, энергия солнечных лучей, осадки, химический состав среды обитания и т.п.

**Антропогенные факторы** – это факторы, созданные деятельностью человека и воздействующие на окружающую среду и живые организмы. К ним относятся истребление, размножение и переселение человеком в другие места обитания различных видов животных и растений, влияние человеческой деятельности на климат, режим рек и др., распашка целинных земель и т.п.

Факторы среды имеют количественное выражение. Зависимость количества того или иного фактора и определенной реакцией организма (например, интенсивности жизнедеятельности) можно представить в виде графика (рис. 11).

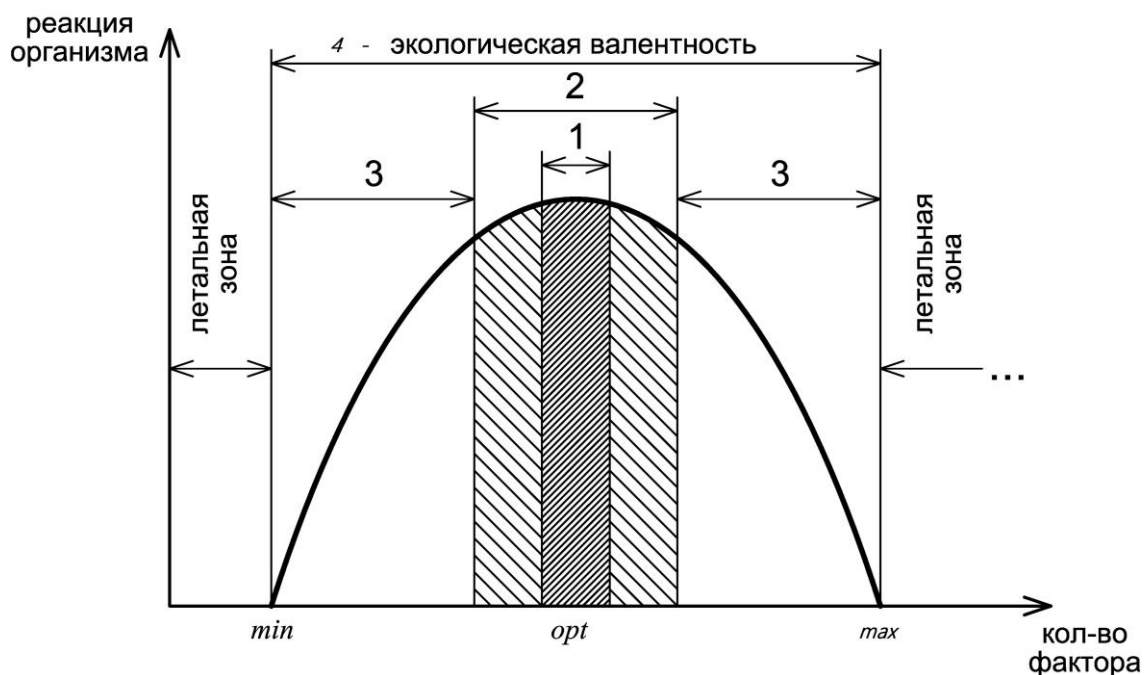


Рис.11. Зависимость реакции организма от количества экологического фактора.

Свойство живых организмов переносить количественные колебания действия фактора среды в том или ином пределе называется *экологической валентностью* или *экологической толерантностью*.

Количество экологического фактора в пределах зоны экологической валентности определяется в основном тремя значениями, представленными тремя кардинальными точками – минимума (min), оптимума (opt) и максимума (max).

Точке оптимума соответствует то количество экологического фактора, при котором интенсивность жизнедеятельности организмов мог существовать в данных условиях. По мере увеличения значений количества фактора интенсивность жизнедеятельности повышается до определенного уровня и снова уменьшается. Точке максимума соответствует максимальное количество фактора, при котором интенсивность жизнедеятельности равна нулю. Перед точкой минимума и после точки максимума располагаются «мертвые» (летальные) зоны, т.е. зоны, которые соответствуют количеству фактора, несовместимое с жизнью.

Зона, прилегающая непосредственно к точке оптимума (на рис. 6 это зона «1»), называется *зоной оптимума* или *зоной комфорта*. В этой зоне организм максимально адаптирован к действию экологического фактора, и количества последнего соответствуют экологическим потребностям организма.

Зона, прилегающая к зоне оптимума, называется *зоной нормы* (зона 2 на рисунке). Ей соответствует такое количество экологического фактора, при котором все жизненно важные процессы протекают нормально, однако для поддержания их на этом уровне необходимы дополнительные энергетические затраты.

*Зона пессимума* (зона 3 на рисунке) – это зона угнетения, ей соответствует такое количество фактора, при котором возникают те или иные отклонения от нормы, и поэтому нормальный ход процессов жизнедеятельности затруднен.

В зависимости от величины зоны экологической валентности (толерантности) различают *эвритопные* и *стенотопные* виды. Чем шире зона толерантности, тем большей экологической пластичностью будут обладать виды. Причем большая пластичность с генетической точки зрения обусловлена широкой нормой фенотипической реакции и генетической гетерогенностью. Виды с такой широкой зоной толерантности называют эвритопными. Виды, имеющие узкую зону толерантности, а значит, обладающие небольшой экологической пластичностью, называются стенотопными.

Следует отметить, что в природе все экологические факторы действуют совместно и организмы приспосабливаются к их комплексному влиянию. Кроме того, аутэкологический и синэкологический оптимумы часто не совпадают.

Не все экологические факторы одинаково важны для успешного выживания конкретного живого организма. **Экологические факторы, которые являются наиболее значимыми (критическими) для жизнедеятельности организма, называются лимитирующими экологическими факторами.** Значение лимитирующих факторов для живых организмов было впервые установлено немецким агрохимиком Ю. Либихом и сформулировано в виде закона.

**Закон минимума** (Ю. Либих, 1840 г.): **Рост растений зависит от того элемента питания, который присутствует в минимальном количестве.** Пояснение: Для питания растений очень важны такие элементы, как калий, азот, фосфор; недостаток этих элементов в почве приводит к отклонениям в нормальном росте растений или их гибели.

Сформулированный для растений, *закон минимума* стал в дальнейшем использоваться для других живых организмов и приобрел новое звучание: *жизнеспособность живых организмов определяется не теми элементами питания, которые потребляются ими в больших количествах и находятся в избытке, а теми, которые используются в микроколичествах и находятся в недостатке.* Например, для нормального развития и функционирования че-



ловеческого организма большое значение имеют витамины и микроэлементы (железо, магний и др.).

Закон Либиха имеет ограниченный характер и действует, как правило, на уровне химических веществ. Его дополнениями являются и другие закономерности действия экологических факторов.

- Закон относительности действия экологических факторов, согласно которому при изменении условий обитания интенсивность жизнедеятельности организма будет ограничиваться действием фактора, количество которого более всего отклоняется от оптимального значения. В случае если он выходит за границы минимума или максимума, то существование организма становится невозможным в данных условиях, даже если значения другие факторы близки к оптимуму.

- Закон относительной заменяемости и абсолютной незаменимости экологических факторов. Т.е. живой организм в определенной мере способен заменить дефицитное вещество другим функционально близким веществом. Для других экологических факторов такая взаимозамена невозможна. Например, нельзя действие влажности заменить действием солнечного света и т.п.

Закон минимума Либиха получил дальнейшее развитие в **законе толерантности** (Ю. Шелфорд, 1913 г.): **Лимитирующим фактором процветания живого организма может быть, как минимум, так и максимум экологического фактора, диапазон между которыми соответствует величине выносливости (толерантности) организма к данному фактору.** Закон Шелфорда был впоследствии (1975 г.) дополнен Ю. Одумом следующими положениями:

1. Организмы могут иметь широкий диапазон толерантности в отношении одного экологического фактора и низкий – в отношении другого.
2. Организмы с широким диапазоном толерантности в отношении всех экологических факторов обычно наиболее распространены.

3. Если условия по одному экологическому фактору не оптимальны для данного вида организмов, то диапазон толерантности может уменьшиться в отношении других факторов и т.д.

### 15 Экологические законы жизни

Кроме законов Либиха и Шелфорда, в экологической науке существует ряд положений, которые носят название *экологических законов жизни* и формулируются следующим образом:

**1. Закон Рулье:** Результаты развития (изменений) любого объекта определяются соотношением его внутренних особенностей и особенностей той среды, в которой он находится.

*Пояснение:* закон имеет всеобщее значение, распространяется на живую и неживую природу и социальную сферу.

**2. Закон сохранения жизни:** Жизнь может существовать только в процессе движения через живое тело потока веществ, энергии и информации. Прекращение движения в этом потоке прекращает жизнь.

*Пояснение:* закон устанавливает принципиальную разницу между живым и неживым веществом. Живое сохраняется только в процессе движения, в непрерывном взаимодействии живого тела с окружающей средой. Сохранение неживых тел, напротив, требует их покоя в благоприятной по свойствам неподвижной среде.

**3.** Каждый вид организмов, поглощая из окружающей среды необходимые ему вещества и выделяя в нее продукты своей жизнедеятельности, изменяет ее таким образом, что среда становится непригодной для его существования.

**4.** Постоянное существование организмов в любом ограниченном пространстве возможно только в экологических системах, внутри которых отходы жизнедеятельности одних организмов утилизируются другими видами организмов.

*Пояснение:* естественно существующая экосистема должна включать авто-трофов, гетеротрофов и сапротрофов.

**5.** Устойчивость экосистем определяется соответствием их видового состава условиям жизни и степенью развитости самих систем.

*Пояснение:* характер почв должен соответствовать потребностям растений, характер растительности – потребностям животных, а их виды должны быть “пришлифованы” друг к другу. Такое положение достигается лишь в течение длительного развития биоценозов.

## **16 Почвоведение и климат как фактор почвообразования**

Почвоведение как наука сформировалась в конце XIX столетия. Ее основоположником был русский ученый В.В. Докучаев (1846-1903).

**Почвоведение** – это наука о почве, ее строении, составе и свойствах, процессах образования, развития и функционирования, закономерностях географического распространения, путях и методах рационального использования.

**Почва** – биокосная открытая четырехфазная динамическая система, находящаяся в постоянном материальном и энергетическом взаимодействии с внешней средой, способная обеспечивать рост и развитие растений.

*Почва состоит* из четырех фаз: твердой, жидкой, газовой и живой (почвенная биота). *Основным свойством почвы* является **плодородие** – способность удовлетворять потребность растений в элементах питания, воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством воздуха, тепла для нормальной жизнедеятельности и создания урожая. Почва сохраняет плодородие, если в ней постоянно протекают *почвообразовательные процессы*, т.е. совокупность биофизико-химических явлений превращения, передвижения веществ и энергии, протекающих в почвенной толще. Агентами почвообразования являются живые организмы и продукты их жизнедеятельности, вода, кислород воздуха и углекислота.

### Главные морфологические признаки почвы.

1. *Строение* почвенного слоя, т. е. его внешний облик, обусловленный определенной сменой горизонтов в вертикальном направлении.
2. *Мощность* почвы и отдельных ее горизонтов (рис. 12) – это ее толщина от поверхности вглубь до материнской породы (от 50 до 150 см).

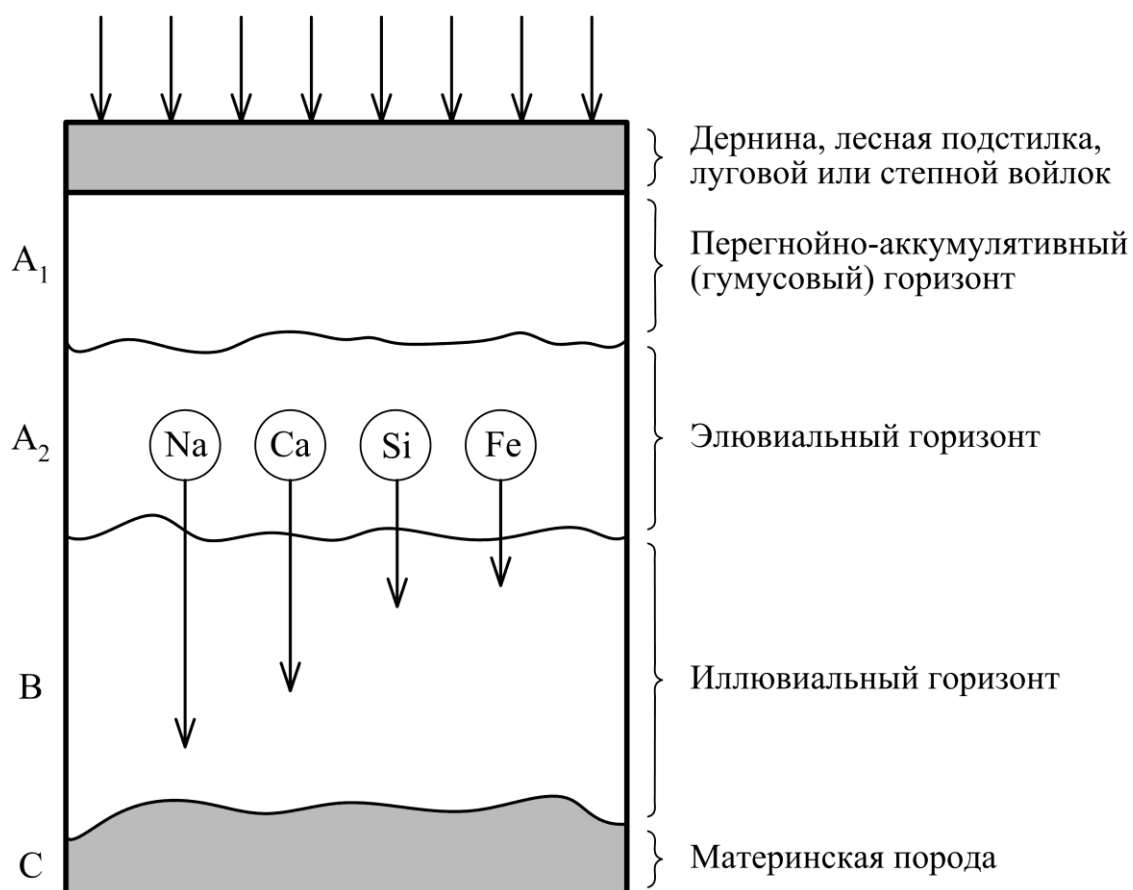


Рис. 12. Общий вид почвенного профиля.

3. *Окраска почвы* определяется преимущественным присутствием в ней тех или иных химических соединений (краснозем, чернозем и т.д.):
  - гумус обуславливает окраску от серой до черной;
  - соединения железа дают красный, оранжевый, желтый или голубой оттенок;
  - кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ), углекислая известь  $\text{CaCO}_3$  и каолинит ( $\text{H}_2\text{Al}_2\text{S}_2\text{O}_8 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) – белесую окраску;
4. *Физико-механические свойства* включают в себя деформационные (сжимаемость), реологические (пластичность, липкость, усадка, набухание) и проч-

ностные (связность, твердость, сопротивление при обработке) характеристики почвы.

5. *Структура* – агрегаты, на которые способна распадаться почва. Они состоят из соединенных между собой механических элементов. Почва может быть и бесструктурной, если слагающие ее механические элементы не соединены между собой в агрегаты и залегают сплошной сцементированной массой (рыхлый песок).

6. *Сложение* – это внешнее выражение плотности и пористости почвы.

7. *Новообразования* (химические и биологические) и *включения* (валуны, обломки горных пород, раковины, кости животных, кусочки кирпича, стекла, угля и т.д.).

Важной характеристикой почв является ее кислотность, обусловленная присутствием в ней органических и минеральных кислот и коллоидов, обладающих кислотными свойствами.

*Классификация почв по кислотности.*

рН	Уровень кислотности (щелочности) почв	Почвы
<4,5	Сильнокислая	Болотные, болотно-подзолистые, подзолистые, красноземы, тропические.
4,6-5,0	Кислая	Подзолистые, дерново-подзолистые, красноземы, тропические.
5,1-5,5	Слабокислая	То же
5,6-6,0	Близкая к нейтральной	Окультуренные дерново-подзолистые, красноземы, серые лесные.
6,1-7,1	Нейтральная	Серые лесные, черноземы.
7,2-7,5	Слабощелочная	Черноземы южные, каштановые, сероземы с признаками солонцеватости.
7,6-8,5	Щелочная	Солонцы, солончаки.
>8,5	Сильнощелочная	Содовые солонцы, солончаки.

На процессы почвообразования существенное влияние оказывает климат:

- прямое (непосредственное воздействие элементов климата);
- косвенное (воздействие климата на животный мир).

Под атмосферным климатом понимают среднее состояние атмосферы той или иной территории, характеризующееся средними показателями метеорологических элементов (температура, осадки, влажность воздуха и т.д.) и их крайними показателями, дающими представление об амплитудах колебаний в течение суток, сезонов и целого года.

Климат формируется под влиянием космических факторов (энергия Солнца) и геосферных (влияние земной поверхности на формирование воздушных масс).

#### Типы климатов

Группа климатов	Средняя температура воздуха больше 10°C, °C
Холодные (полярные)	Менее 600
Холодно-умеренные (бореальные)	600-2000
Тепло-умеренные (суббореальные)	2000-3200
Теплые (субтропические)	3200-8000
Жаркие (тропические)	Более 8000

#### Классификация почв по степени увлажнения.

Группа климатов	Коэффициент увлажнения (КУ) по Высоцкому-Иванову
Очень влажные (экстрагумидные)	Более 1,33
Влажные (гумидные)	1,33-1
Полувлажные (семигумидные)	1-0,55
Полусухие (семиаридные)	0,55-0,33
Сухие (аридные)	0,33-0,12
Очень сухие (экстрааридные)	Менее 0,12

Коэффициент увлажнения (КУ) – это отношение количества осадков к испаряемости.

Главный источник энергии для биологических и почвенных процессов – солнечная радиация, а основной источник увлажнения - атмосферные осадки. Постоянный тепло- и влагообмен между почвой и атмосферой формирует гидротермический режим почвы, который является важнейшим ее свойством. В связи с этим большое значение имеет характеристика климата по температурным условиям и увлажнению.

#### Роль климата как фактора почвообразования.

1. Климат обуславливает тип растительности, темпы создания и разрушения органического вещества, состав и интенсивность деятельности почвенной микрофлоры и фауны.
2. Климат определяет водно-воздушный, температурный и окислительно-восстановительный режимы почвы.
3. Климат определяет ход процессов превращения минеральных соединений в почве.
4. Климат оказывает большое влияние на процессы ветровой и водной эрозии почвы.

Таким образом, знание характеристик почвы и климата позволяют осуществлять рациональное землеустройство территорий, разрабатывать эффективные системы земледелия, проектировать мелиоративные системы осушения и орошения, химической мелиорации, экономическую оценку земель и т.д.

## 17 Ноосфера

Биосфера – саморегулирующаяся, динамически устойчивая планетарная экосистема. Такой она стала в процессе эволюции. Динамическая устойчивость биосферы обеспечивается разнообразием составляющих ее экосистем, саморегуляция достигается посредством сложных механизмов круговорота веществ и энергии.

Миллион лет назад в эволюции биосферы произошло важное событие – появился человек. Отличие человека от других живых организмов состояло в обладании сознанием, позволяющим оценивать результаты своей деятельности. Однако долгое время деятельность человека практически не отличалась от деятельности других живых организмов и была связана в основном с удовлетворением естественных биологических потребностей – добыванием пищи, поиском источников тепла, защитой от хищных зверей и т.д. По мере развития человечества влияние его деятельности на биосферу росло. Но только благодаря стремительному прогрессу науки и техники (XIX-XX вв.), человек начал по-настоящему активно вмешиваться в естественные процессы, протекающие в биосфере.

Сейчас влияние деятельности человека на биосферные процессы стало сопоставимо с влиянием естественных факторов, определявших развитие биосферы на протяжении всей ее предыдущей истории. Именно в наши дни вступает в силу разработанная академиком В. И. Вернадским концепция ноосферы – сферы разума.

**Ноосфера** (от греч. “noos” – мышление, разум) – **высшая стадия развития биосферы, связанная с возникновением и становлением в ней цивилизованного общества, с периодом, когда разумная деятельность человека становится главным определяющим фактором развития биосферы.** Вот как сам В. И. Вернадский писал о ноосфере: “Человечество, взятое в целом, становится мощной геологической силой. И перед ним, перед его мыслью, трудом встает вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно



мыслящего человечества как единого целого. Это новое состояние биосферы, к которому мы приближаемся, и есть ноосфера”.

Сейчас мы можем говорить лишь о начальных стадиях развития ноосферы и в зависимости от того, как построит человек свои взаимоотношения с окружающей его природной средой, зависит будущее биосферы и существование самого человека.

Деятельность человека, оказывающую влияние на природные биосферные процессы, принято называть антропогенным воздействием.

***Антропогенное воздействие*** – деятельность человека, связанная с реализацией его экономических, военных, культурных и других интересов, вносящая физические, химические, биологические и другие изменения в окружающую природную среду.

Характер и масштабы антропогенного воздействия на биосферу определяются ***биосоциальной природой человека***, суть которой состоит в следующем:

- с одной стороны, **человек – биологический объект**, участвующий в глобальном круговороте веществ и энергии и связанный с окружающей средой системой трофических взаимодействий (человек – гетеротрофный консумент-полифаг с аэробным типом обмена);
- с другой стороны, **человечество представляет собой высокоразвитую социальную систему**, которая предъявляет к окружающей среде широкий круг небиологических требований, вызванных техническими, бытовыми, культурными потребностями, прогрессивно возрастающими по мере развития науки, техники, культуры.

В настоящее время потребности человека вышли далеко за рамки чисто биологических, масштабы его воздействия на биосферу значительно превысили ее адаптационные возможности. Другими словами, **человечество как социальная система стало функционировать намного шире, чем как система биологическая**. Такое состояние взаимоотношений в системе “человеческое общество – биосфера” влечет за собой нарушение сложившегося в

процессе эволюции биологического круговорота и угрожает целостности биосферы.

Выделяют следующие основные *виды антропогенных воздействий*:

- 1. Изменение структуры земной поверхности:** строительство городов, промышленных предприятий, дорог, распашка степей, вырубка лесов, осушение земель, создание искусственных водоемов и т.д.
- 2. Изменение химического состава окружающей природной среды, влияние на круговорот веществ в биосфере:** добыча полезных ископаемых, выбросы различных веществ в атмосферу и гидросферу, химизация сельского хозяйства и т.д.
- 3. Изменение энергетического (теплового) баланса отдельных регионов и планеты в целом:** крупномасштабное сжигание топлива, загрязнение атмосферы “малыми газами” и т.д.
- 4. Изменения, вносимые в живую природу:** уничтожение отдельных видов организмов, выведение новых пород животных и сортов растений, перемещение организмов на новые места обитания и т.д.

Все антропогенные воздействия на биосферу можно разделить на преднамеренные (целенаправленные) и сопутствующие (непроизвольные). **Преднамеренные антропогенные воздействия** – воздействия, осуществляемые человеком сознательно для достижения конкретных целей: например, строительство городов, дорог, водохранилищ, добыча полезных ископаемых и т.д. **Сопутствующие антропогенные воздействия** возникают побочно с преднамеренными: например, добыча полезных ископаемых сопровождается изменением почвенного рельефа и т.п. Более опасными для окружающей природной среды являются сопутствующие антропогенные воздействия: их сложно прогнозировать и отклик биосферы на них появляется не сразу, а со сдвигом во времени, вследствие чего масштабы таких воздействий трудно регулировать.

## 18 Понятие загрязнения, виды и источники

Основным и наиболее распространенным видом антропогенного воздействия на биосферу является загрязнение окружающей природной среды.

Загрязнение окружающей природной среды – это поступление в нее или возникновение в ней новых, нехарактерных для нее физических, химических, биологических или информационных агентов, оказывающих вредное воздействие на природные экосистемы и человека. Другими словами, **загрязнение окружающей природной среды** – это поступление в природную среду любых твердых, жидких и газообразных веществ, микроорганизмов или энергий в количествах, оказывающих вредное воздействие на здоровье человека, флору и фауну.

По происхождению загрязнение окружающей среды бывает естественным и антропогенным. **Естественное загрязнение** – это загрязнение, вызванное естественными (природными) причинами и катастрофами. К ним относятся извержения вулканов, пыльные бури, лесные и степные пожары, селевые потоки, наводнения, землетрясения, выветривание горных пород, ветровая и водная эрозия, массовое цветение растений, разложение живых организмов и т.п. **Антропогенное загрязнение** – это загрязнение, являющееся результатом хозяйственной деятельности человека.

Выделяют следующие основные **виды загрязнений** окружающей природной среды:

**1. Физическое (параметрическое) загрязнение** – загрязнение, связанное с изменением физических параметров среды. В зависимости от изменения того или иного параметра различают следующие виды физических загрязнений:

а) *Тепловое загрязнение*. Проявляется в повышении температуры среды. Источники – теплотрассы, промышленные выбросы теплой воды и дымовых газов и т.д.

б) *Шумовое загрязнение*. Проявляется в превышении естественного уровня шума и ненормальном изменении звуковых характеристик – периодичности,

силы звука и т.п. Источники – работа транспорта, промышленных устройств, бытовых приборов, поведение людей и т.д.

в) *Радиационное и радиоактивное загрязнения*. Радиационное обусловлено действием ионизирующих излучений, радиоактивное – содержанием радиоактивных веществ. Проявляется в превышении естественного радиационного фона Земли (1-10 мЗв/год). Источники – разработка радиоактивных руд, ядерные взрывы (военные и в мирных целях), применение радионуклидов в различных отраслях хозяйства (медицина, энергетика и др.), ядерно-технические установки (подводные лодки и др.), аварии на атомных электростанциях и предприятиях, радиоактивные отходы.

г) *Электромагнитное загрязнение*. Обусловлено длительным воздействием электромагнитных полей. Проявляется нарушениями в тонких клеточных и молекулярных биологических структурах: повышении утомляемости, возникновении чувства апатии и др. Источники – высоковольтные линии электропередач, электроподстанции, антенны радио- и телепередающих станций, бытовая техника (микроволновые печи и др.), радиотелефоны, компьютеры и т.д.

**2. Химическое (деструкционное) загрязнение** – загрязнение, проявляющееся в увеличении количества химических компонентов в определенном объеме среды за рассматриваемый промежуток времени, а также проникновение в среду химических веществ, отсутствовавших в ней ранее, или в количествах, превышающих норму. Различают два вида химических загрязнений:

а) *Минеральное загрязнение* – загрязнение минеральными веществами.

б) *Органическое загрязнение* – загрязнение органическими веществами.

Количество загрязняющих биосферу химических веществ огромно и постоянно увеличивается по мере развития новых технологических процессов. “Приоритет” принадлежит следующим загрязняющим веществам: диоксиду серы, тяжелым металлам (свинцу, кадмию, ртути и др.), пестицидам, бенз(а)пирену, нефти и нефтепродуктам (углеводородам), оксиду и диоксиду углерода, оксидам азота, полимерным материалам (пластмассам). Источники

химического загрязнения – химическая, нефтехимическая, металлургическая, горнодобывающая, пищевая и другие отрасли промышленности, энергетика (ТЭС), сельское хозяйство, транспорт, коммунально-бытовое хозяйство и т.д.

**3. Биологическое загрязнение** – привнесение в среду и размножение в ней нежелательных, в первую очередь – для человека, организмов (растений, животных, микроорганизмов), проникновение их в эксплуатируемые экосистемы и технологические устройства. Различают следующие виды биологических загрязнений:

а) *Биотическое (биогенное) загрязнение*. Проявляется в распространении нежелательных, с точки зрения людей, биогенных веществ (выделений, мертвых тел и др.) на территории или акватории, где они ранее не наблюдались.

б) *Микробиологическое (микробное) загрязнение*. Проявляется в появлении в среде необычно большого количества микроорганизмов.

Источники биологического загрязнения – мусорные свалки, несвоевременная уборка мусора, предприятия промышленного биосинтеза (производство биоконцентратов, кормового белка, антибиотиков, вакцин, ферментов и др.) и т.д.

По масштабам и распространению различают локальное, региональное и глобальное загрязнения окружающей среды. **Локальное** (местное) **загрязнение** – это загрязнение небольшой территории, как правило, вокруг промышленного предприятия, населенного пункта. **Региональное загрязнение** – это загрязнение, обнаруживающееся в пределах значительных пространств, но не охватывающее всю планету. **Глобальное** (фоновое-биосферное) **загрязнение** – это загрязнение, обнаруживающееся в любой точке планеты независимо от расстояния от источника загрязнения.

В настоящее время антропогенному загрязнению подвергаются все компоненты биосферы (воздух, вода, почва).

Основными **источниками загрязнения атмосферы** являются предприятия черной и цветной металлургии, химическая и нефтехимическая промышленность, теплоэнергетика (ТЭС, АЭС, промышленные и городские ко-

тельные), промышленность строительных материалов, целлюлозно-бумажная и деревообрабатывающая промышленность, автотранспорт, сельское хозяйство. Главными загрязнителями атмосферного воздуха являются оксиды углерода, оксиды азота,  $\text{SO}_2$  и твердые частицы (пыль, сажа, зола и др.). На их долю приходится ~98% от общего объема выбросов. В атмосферу поступает также множество других вредных веществ – углеводороды, бенз(а)пирен, аммиак, сероводород, хлор, фтор, озон, формальдегид, фенолы, тяжелые металлы, фреоны и т.д.

Основными **источниками загрязнения гидросферы** являются сточные воды предприятий черной и цветной металлургии, химической, нефтехимической, целлюлозно-бумажной и легкой промышленности, машиностроения, коммунально-бытового хозяйства, а также сточные воды судов (т.е. флота). Водоемы загрязняются тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами, пестицидами, солями, взвешенными частицами, фенолами, СПАВ и т.д., возникают тепловое, радиационное и другие загрязнения.

Основными **источниками загрязнения литосферы** являются сельское хозяйство, мелиорация, добыча полезных ископаемых, химическая, нефтехимическая, металлургическая и военная промышленность, энергетика, коммунально-бытовое хозяйство. Главными загрязнителями почвы являются пестициды, металлы, картон и бумага, пластмассы, золы, шлаки.

## 19 Критерии оценки степени загрязнения

Итак, в настоящее время хозяйственная деятельность человека по мощности воздействия на биосферу соизмерима с процессами, протекающими в природе. И совершенно очевидно, что **продолжать бесконтрольно загрязнять окружающую природную среду человечество не может; однако прекратить свою хозяйственную деятельность или хотя бы снизить ее темпы оно тоже не в состоянии** – в связи со все возрастающими потребностями цивилизации. Единственным выходом из сложившейся ситуации явля-

ется установление рациональных взаимоотношений человека с окружающей природной средой. **Рациональные взаимоотношения предполагают использование человеком природных ресурсов без ущерба для окружающей природной среды и обеспечение их возобновления.** Другими словами, необходимо регулировать качество окружающей природной среды. Под **качеством окружающей природной среды** понимают совокупность показателей, характеризующих состояние природной среды. Для регулирования качества окружающей природной среды современное законодательство многих стран, в том числе и РФ, использует систему экологического нормирования.

**Экологическое нормирование** (т.е. нормирование качества окружающей природной среды) - это процесс научной разработки и юридического закрепления системы количественных и качественных нормативов состояния окружающей природной среды, при которых обеспечиваются благоприятные условия для жизни людей и устойчивого функционирования природных экосистем. Другими словами, экологическое нормирование имеет два аспекта - регулирование антропогенных нагрузок на окружающую среду и обеспечение безопасности окружающей среды для человека. **Целью** экологического нормирования является поддержание такого состояния природных экосистем, при котором происходит непрерывное обеспечение процессов обмена веществами и энергией между природой и человеком на уровне, обеспечивающем воспроизводство жизни на Земле.

Нормативы качества окружающей природной среды делятся на три группы: санитарно-гигиенические, производственно-хозяйственные и комплексные.

**Санитарно-гигиенические нормативы** - это нормативы предельно допустимых уровней химического, биологического, физического и радиационного воздействий (применительно к здоровью человека). Основными санитарно-гигиеническими нормативами являются: предельно допустимая концентрация вредных веществ ПДК (для химических и биологических воздей-

ствий) и предельно допустимый уровень воздействия ПДУ (для физических и радиационных воздействий).

**Предельно допустимая концентрация ПДК** – такое содержание вредного вещества в компонентах окружающей среды (воздухе, воде, почве), которое при периодическом (т.е. за определенный промежуток времени) или постоянном (т.е. в течение всей жизни человека) воздействии практически не влияет на здоровье человека и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства. ПДК веществ для воздуха выражаются в  $\text{мг/м}^3$ , для воды – в  $\text{мг/л}$ , для почвы – в  $\text{мг/кг}$ . Величины ПДК разрабатываются с использованием научных методов и устанавливаются в законодательном порядке – Государственным Комитетом санитарно-эпидемиологического надзора (Госкомсанэпиднадзор) при правительстве РФ. Первые нормативы ПДК вредных веществ в нашей стране были установлены: для воды - в 1939 г., для воздуха - в 1951 г., для почвы - в 1980 г. Сейчас в РФ утверждены и действуют более 500 нормативов ПДК вредных веществ для воздуха, более 1900 - для водоемов и более 130 - для почв.

**Производственно-хозяйственные нормативы** качества устанавливают требования к источнику вредного воздействия, ограничивая его деятельность определенной пороговой величиной. Основными производственно-хозяйственными нормативами являются: предельно допустимый выброс ПДВ и предельно допустимый сброс ПДС. Под выбросом понимается поступление вредных веществ в атмосферу, под сбросом – поступление вредных веществ вместе со сточными водами в природные водные объекты.

**Предельно допустимый выброс ПДВ** – максимальное количество загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферу отдельным конкретным источником в единицу времени, превышение которого ведет к превышению ПДК загрязняющего вещества в приземном слое воздуха и, как следствие, к неблагоприятным последствиям в окружающей среде и угрозе для здоровья людей.



**Предельно допустимый сброс ПДС** – максимальное количество загрязняющего вещества, сбрасываемого в составе сточных вод в природный водный объект, превышение которого ведет к превышению ПДК загрязняющего вещества в данном природном объекте. ПДВ выражается в г/с, ПДС – в мг/л или г/м<sup>3</sup>. Постановление о введении ПДВ (ПДС) в практику природоохранной деятельности в нашей стране было принято в 1978 году. ПДВ (ПДС) определяется индивидуально для каждого химического вещества и каждого источника выбросов (сбросов), которых может быть несколько на одном предприятии. Величины ПДВ (ПДС) устанавливаются **Государственным комитетом по охране окружающей среды (Госкомэкологии России)**, Минприроды РФ или специально уполномоченными органами в области охраны окружающей среды.

Основными **комплексными нормативами** качества являются предельно допустимые нормы нагрузки на окружающую природную среду ПДН.

Предельно допустимые нормы нагрузки на окружающую природную среду ПДН – это максимально допустимые размеры антропогенного воздействия на природные ресурсы или природные комплексы, не приводящие к нарушению устойчивости природных экосистем. Например, нормы ПДН устанавливают предельное число домашнего скота, приходящееся на единицу пастбищных угодий; предельное число посетителей, пребывающих одновременно на экскурсии в заповеднике; экологические ограничения на использование лесных или водных ресурсов и т.п. Нормативы ПДН разрабатываются и утверждаются отраслевыми или местными экологическими организациями.

## 20 Экологические кризисы и катастрофы

**Экологический кризис** – это изменения окружающей среды, вызванные деятельностью человека, которые резко нарушают возможность нормального существования общества. Нерациональное природопользование является причиной экологических кризисов и экологических катастроф. *Экологический кризис* — это обратимое изменение равновесного состояния природных комплексов. Он характеризуется не столько усилением воздействия человека на природу, сколько резким увеличением влияния измененной людьми природы на общественное развитие.

Человечество создало экосистему, основанную не на равновесии, а на эксплуатации воды, почвы, энергетических и других ресурсов и т.д. Такая ситуация соответствует кризисной. Последствия кризисов всегда сложно преодолевать. Человек выступает при экологическом кризисе активно действующей стороной. История цивилизации доказывает, что вслед за экологическим кризисом следует революционное изменение во взаимоотношениях общества и природы. В предыстории и истории человечества выделяют ряд экологических кризисов и революций.

1. Изменение среды обитания живых существ, вызвавшее возникновение прямоходящих антропоидов — непосредственных предков человека.

2. Кризис относительного обеднения доступных примитивному человеку ресурсов промысла и собирательства, обусловившего стихийные биотехнические мероприятия типа выжигания растительности для лучшего и более раннего роста.

3. Первый антропогенный экологический кризис — массовое уничтожение (перепромысел) крупных животных (*«кризис консументов»*), связанный с последовавшей за ним *сельскохозяйственной экологической революцией*.

4. Экономический кризис засоления почв и деградация примитивного

поливного земледелия, недостаточность его для растущего народонаселения Земли, что привело к преимущественному развитию неполивного земледелия.

5. Экономический кризис массового уничтожения и нехватки растительных ресурсов, или *«кризис продуцентов»*, связанный с общим бурным развитием производственных сил общества, вызвавший широкое применение минеральных ресурсов, промышленную, а в дальнейшем и научно – техническую революцию.

6. Современный кризис угрозы недопустимого глобального загрязнения. Здесь редуценты не успевают очищать биосферу от антропогенных продуктов или потенциально не способны это сделать в силу неприродного характера выбрасываемых синтетических веществ. Этот кризис называют *«кризисом редуцентов»*, которому соответствует высший этап научно-технической революции — реутилизация продуктов и условное замыкание технологических циклов.

С «кризисом редуцентов» почти одновременно наступают два других экологических напряжения: термодинамическое (тепловое) и снижение надежности экосистем. Они связаны с экологическими ограничениями производства энергии в нижней тропосфере и нарушением природного экологического равновесия. Данные экологические кризисы ближайшего будущего будут разрешены на основе энергетической и эколого-плановой экологических революций. Первая будет заключаться в максимальной экономии энергии и переходе к ее источникам, практически не добавляющим тепло в приземный слой тропосферы (главным образом солнечным), вторая — в регулируемой *коэволюции* в системе «общество — природа».

*Экологическая катастрофа* — это природная аномалия (длительная засуха, массовый мор, например, скота и т. д.), зачастую возникающая на основе прямого или косвенного воздействия человеческой деятельности на природные процессы и ведущая к остро неблагоприятным экономическим последствиям или массовой гибели населения определенного региона; *авария*

*технического устройства* (атомной электростанции, танкера и т. п.), приводящая к остро неблагоприятным изменениям в среде и повлекшей за собой массовую гибель живых организмов и экономический ущерб; одно из *состояний природы*. Экологическая катастрофа отличается от экологического кризиса тем, что кризис — это обратимое состояние, где человек выступает активно действующей стороной, а катастрофа — необратимое явление, человек здесь вынужденно пассивная, страдающая сторона. В более широком понимании экологические катастрофы — это фазы развития биосферы, где происходит качественное обновление живого вещества, например, вымирание одних видов и возникновение других.

В наше время можно наблюдать множество кризисных ситуаций, которые связаны с ростом технической вооруженности человека и его мощным воздействием на природу. К ним относят: разрушение озонового слоя, парниковый эффект, эрозию почвы, перенаселение, энергетический кризис и т. д. Для преодоления экокатастроф необходимо усилиями всего человечества оптимизировать взаимоотношения общества и природы.

## **21 Парниковый эффект**

**Парниковый эффект** — постепенное потепление климата на нашей планете в результате увеличения концентрации в атмосфере антропогенных примесей (оксидов углерода, азота, метана, озона, фреона), которые, пропуская солнечные лучи, препятствуют длинноволновому тепловому излучению с земной поверхности.

В атмосфере Земли происходят те же процессы, что и в обычном парнике для растений. Через стекла окон в теплицу проникает солнечный свет и поглощается почвой, которая частично отражает его в виде инфракрасного излучения. Тепло не проникает сквозь стекло наружу, а остается внутри. Парниковые газы в биосфере Земли играют роль стекла.

*Источники парниковых газов.*

1. Основным источником *углекислого газа*  $\text{CO}_2$  является сжигание ископаемого топлива. Ежегодно его содержание в атмосфере увеличивается на 5%.
2. Поставщиками в атмосферу *метана*  $\text{CH}_4$  являются болота, рисовые поля, крупный рогатый скот, угольные месторождения. Ежегодно его содержание в атмосфере увеличивается на 1%.
3. *Фреоны* выделяются в промышленном производстве и в процессе эксплуатации бытовой техники. Ежегодный прирост – 4%.
4. Увеличение содержания в атмосфере *оксида азота*  $\text{NO}_2$  (0,3% ежегодно) связывают в основном с возрастанием производства и применения азотных удобрений в с/х.

За последние 100 лет вклад парниковых газов в глобальное потепление климата составил:  $\text{CO}_2$  – 66%,  $\text{CH}_4$  – 18%, фреонов – 8%,  $\text{NO}_2$  – 3% и остальных газов – 5%. В результате средняя температура на планете повысилась на 1,3°C. Однако, увеличение концентрации перечисленных газов по-разному влияет на величину парникового эффекта, что определяется особенностями поглощения самой молекулы газа: метан разогревается больше, чем фреон, а фреон больше, чем оксид углерода.

Парниковый эффект имеет для Земли как положительные, так и отрицательные стороны.

#### *Отрицательные последствия парникового эффекта.*

За последние 100 лет уровень Мирового океана повысился в среднем примерно на 25 см. Это происходит в результате таяния материковых и горных ледников, морских ледников, теплового расширения океана и т. д.

Для России, у которой 50% территории занято вечной мерзлотой, парниковый эффект приводит к следующим последствиям: увеличение сезонного протаивания грунтов, что создает угрозу дорогам, строениям и коммуникациям, заболачиванию, ухудшению состояния лесных массивов и т.д. В результате эти факторы влекут за собой большие экономические и экологические проблемы.

#### *Положительные последствия парникового эффекта.*

При глобальном потеплении климата будет отмечаться увеличение испарения с поверхности океана и связанное с ним возрастание увлажнения климата, что очень важно для с/х областей. Повышение концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере способствует интенсификации процессов фотосинтеза, т.е. увеличению продуктивности фитоценозов.

Проведенные расчеты показали, что при увеличении концентрации  $\text{CO}_2$  в два раза, урожайность зерновых может возрасти на 67%, кормовых культур на 95%.

Таким образом, несмотря на наличие некоторых положительных сторон парникового эффекта для наземных экосистем, только одна проблема – подъем уровня мирового океана может отрицательно повлиять на жизнь населения более 30 стран. Поэтому создан межправительственный комитет по предотвращению глобального потепления климата, который разработал стратегию борьбы с парниковым эффектом:

- 1). Увеличение КПД использования горючего на транспорте;
- 2). Разработка и внедрение бестопливных источников энергии (солнечные батареи, ветряные электростанции, энергия волн и т. д.);
- 3). Прекращение вырубки лесов;
- 4). Восстановление лесов;
- 5). Повышение экологического сознания.

Межведомственной комиссией по экологии Совета безопасности Российской Федерации выработаны меры по предотвращению загрязнения атмосферы. Наша страна является участницей Киотского соглашения, предусматривающего сокращение выбросов двуокиси углерода, которое уже подписали 106 стран. Среди стран Киотского протокола доля выбросов Японии составила 6,7%, России – 16,7%, стран ЕС – 23%, США – 33,6%. Для нашей страны ратификации договора не повлечет за собой экономических проблем. Напротив, за счет сокращения выбросов, вызванного спадом промышленного производства, Россия сможет сэкономить до 40% электроэнергии, а за счет продажи квот модернизировать свою промышленность (так около 25%, это 300

млн. тонн выбросов, Россия могла бы продать только США). Российский парламент намерен в ближайшее время ратифицировать Киотское соглашение.

Крупнейший загрязнитель воздуха – США заявил о своем выходе из этого договора. Именно на США приходится наибольший объем выбросов двуокиси углерода, однако власти США объявили, что расходы на сокращение этих выбросов слишком негативно скажется на американской экономике. Выход США из процесса остановит действие Киотского протокола, поскольку по его условиям общая сумма выбросов всех участников должна быть не менее 55%.

Китай является вторым главным загрязнителем окружающей среды. Так как это государство относится к развивающимся, то Киотское соглашение его мало к чему обязывает, и соответствующие ограничения на него пока не распространяются.

Очевидно, что только совместные усилия всего мирового сообщества позволят сократить выбросы парниковых газов и уменьшить их пагубное воздействие на окружающую среду и здоровье людей.

## **22 Эрозия почвы**

Плодородный слой почвы представляет собой сложное сочетание следующих компонентов:

- минеральные частицы;
- детрит, т.е. мертвое органическое вещество растений и животных, включая отходы их жизнедеятельности, на разных стадиях разложения;
- множество живых организмов от редуцентов (грибов и бактерий) до более крупных детритофагов (дождевых червей, моллюсков и насекомых), формирующих сложную пищевую сеть, основанную на детрите.

Охрана почвенной экосистемы необходима для поддержания плодородия почвы. Чтобы растения могли выжить, почва как среда обитания должна

удовлетворять их потребностям в минеральных элементах питания, воде и кислороде. Очень важны также ее pH (кислотность) и соленость (концентрация солей). Чтобы человечество устойчиво развивалось, следует осознать типы отрицательного воздействия на почву и принять меры для борьбы с ними. Самое разрушительное влияние на почву оказывает эрозия.

**Эрозия** – процесс захватывания частиц почвы и их выноса водой или ветром. Обычно растительный покров или опавшие листья обеспечивают защиту от всех форм эрозии. В последние десятилетия распашка и культивация земель, перевыпас, сведение лесов, проводимые в широких масштабах для обеспечения населения земли продовольствием, оставляют почву обнаженной и вызывают беспрецедентную эрозию, подрывающую будущее плодородие.

В нормальных условиях за год формируется слой почвы толщиной в 0,4 см, поэтому и потери должны быть не больше этой величины. Но на большинстве лесных и пахотных земель этот баланс нарушен. По всему миру потери почвы с полей достигли около 23 млрд. тонн в год – это порядка 9,2 млн. га.

Коварство эрозии проявляется в том, что потеря первых 20-30% пахотного слоя почвы не сказывается на урожайности и компенсируется дополнительным внесением удобрений.

### **Основные типы эрозии почв.**

1. **Геологическая (нормальная) эрозия** протекает в естественных условиях в результате процессов выветривания и денудации. Выветривание включает в себя множество физических процессов, например, замерзание и оттаивание, нагревание и охлаждение, абразивное действие песчаных частиц, переносимых ветром и т. д. При этом почвенный профиль восстанавливается в ходе почвообразования.
2. **Антропогенная эрозия** связана с деятельностью человека и возникает в результате:



- *выпахивания*, которое оставляет почву открытой значительную часть года, пока с/х культуры не сформируют сплошной покров, препятствующий эрозии.
- *перевыпаса*, который происходит в случае, когда трава на пастбище съедается быстрее, чем растет, и почва быстро обнажается.
- *ирригационной эрозии*, возникающей на склонах при искусственном орошении.
- *вырубки лесов*, которая оставляет почву открытой. К тому же происходит вымывание из нее биогенных веществ, особенно азота.
- *засоления* земель происходящего в результате искусственного орошения. Вода расходуется на испарение и транспирацию, а остающиеся при этом в почвенном растворе соли накапливаются в количестве, препятствующем развитию растений.

**3. Водная эрозия** начинается с *капельной*. Дождевые капли, ударяясь о поверхность почвы, разбивают почвенные комки и агрегаты, а мелкие частицы закупоривают поры и пространства между другими агрегатами, ухудшая аэрацию и увеличивая поверхностный сток. Это приводит к дальнейшему развитию эрозии. Стекая по поверхности, вода подхватывает и уносит частицы почвы. Равномерное их вымывание с поверхности называется *плоскостной эрозией*. По мере развития поверхностного стока вода сливается в ручейки. Когда образуется множество мелких русел, эрозию называют *струйчатой*, а когда несколько мелких русел объединяются в одно крупное – *овражной*. В результате происходит опустынивание.

Эрозия и опустынивание – результат беспечного отношения к окружающей среде, но их можно контролировать и предупреждать.

#### *Методы предупреждения эрозии.*

1. **Контурная вспашка** – производится перпендикулярно склону, при этом вода задерживается бороздами, предотвращая поверхностный сток и эрозию.
2. **Узкополосный посев** – это чередование полос высеваемой культуры и травы. Почва, уносимая с распаханых полос, задерживается травой.

3. **Полезащитные полосы** – ряды деревьев вокруг полей.

4. **Террасирование** – это оформление склонов в виде ступеней.

5. **Беспахотное земледелие** - применяется в развивающихся странах. Почву вспахивают для борьбы с сорняками, альтернативой этому является обработка полей гербицидами. Затем зерна высевают с помощью трактора с сеялкой. В результате экономят время, топливо, уменьшается уплотнение почвы. Недостаток – химикаты.

6. **Восстановление лесов и растительного покрова** лучше всего защищают почву от разрушения:

- растения принимают на себя удары дождевых капель;
- корни растений скрепляют почвенные частицы;
- растительность замедляет поверхностный сток и усиливает впитывание воды, задерживает смываемые частицы почвы;
- способствует накоплению снега, ослабляет промерзание почвы, что приводит к лучшему впитыванию влаги весной.

7. **Рекультивация** земель включает в себя комплекс горно-технических, мелиоративных, сельскохозяйственных, лесохозяйственных и других видов работ, направленных на восстановление нарушенного плодородия территорий и создания на них культурных ландшафтов.

8. **Борьба с засолением** путем вымывания их большим количеством воды и отводом ее через искусственные дренажные системы.

Таким образом, возросшие антропогенные нагрузки на агроландшафты приводят к нарушению экологических функций почвенного покрова. Процессы антропогенного опустынивания, водной и ветровой эрозии, вторичного засоления, осолонцевания, заболачивания, загрязнения химическими веществами и радионуклеидами, нарушения горными выработками, переуплотнения, обесструктурирования, дегумификации и др. приводят к деградации почв. В связи с этим необходимо проведение постоянного мониторинга почвенного покрова для разработки мер по предотвращению разрушения почв.

## 23 Проблема загрязнения пестицидами

**Пестициды** (ядохимикаты) – это химические препараты для защиты с/х продукции. До недавнего времени почвы в Ростовской области подвергались массированному загрязнению пестицидами. В последнее время эта проблема смягчилась за счет уменьшения объема применения пестицидов, использования быстроразлагающихся химических веществ, применения биологических методов защиты с/х продукции, повышения уровня экологического образования. В связи с этим значительно снизился уровень загрязнения почвы, а, следовательно, и грунтовых вод.

### **Классификация пестицидов по объекту воздействия:**

1. **Гербициды** – уничтожают сорняки.
2. **Инсектициды** – уничтожают вредных насекомых.
3. **Зооциды** – используют для борьбы с грызунами.
4. **Фунгициды** – уничтожают возбудителей грибковых заболеваний.
5. **Дефолианты** – удаляют листья.
6. **Дефлоранты** – удаляют лишние цветки.

Опасность пестицидов заключается в том, что ни один из химикатов не обладает абсолютной избирательностью в отношении организмов, против которых он разработан. Поэтому они представляют угрозу для всех организмов, в том числе и для людей. В связи с этим пестициды также называют **биоцидами**, т.е. веществами, которые угрожают различным формам живого.

Пестициды также различают по химической структуре: хлор-, фосфор-, ртутьорганические, цианистые, производные мочевины, препараты меди и т.д.

Для оценки токсичности пестицидов пользуются величиной **средней смертельной дозы** ( $ЛД_{50}$ ), вызывающей гибель 50% подопытных животных.

### **Классификация пестицидов по степени токсичности:**

1. **Высокоядовитые:**  $ЛД_{50}$  от 50 до 200 мг на 1 кг массы подопытного животного.

2. **Среднеядовитые:** ЛД<sub>50</sub> от 200 до 1000 мг/кг.

3. **Малоядовитые:** ЛД<sub>50</sub> выше 10 г.

Использование химических пестицидов приводит к возникновению ряда проблем:

1. Развитию устойчивости у вредителей;
2. Возрождение вредителей и вторичные вспышки численности;
3. Рост затрат;
4. Нежелательное воздействие на окружающую среду и здоровье человека.

Наиболее перспективным решением проблем, связанных с применением химических препаратов, является разработка и применение биологических методов борьбы с вредителями. Существует пять основных категорий природных методов:

- с помощью естественных врагов;
- генетические;
- использование стерильных самцов, т.е. внедрение в природную популяцию бесплодных мужских особей, выращенных в лаборатории;
- культурные, которые заключаются в нехимическом изменении одного или более факторов окружающей среды таким образом, что она становится непригодной для вредителей или они не могут в нее внедриться;
- с помощью природных химических соединений (гормонов).

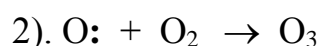
Таким образом, использование комплексного подхода для борьбы с вредителями, позволяет в значительной степени свести к минимуму использование синтетических органических пестицидов, не подвергая угрозе с/х культуры, за счет приведения в действие всех относящихся к этому социальных, экономических и экологических факторов.

## 24 Озоновые дыры

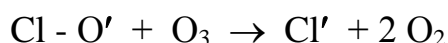
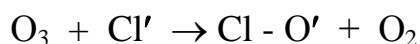
Озоновый экран находится в стратосфере на расстоянии порядка 25 км над поверхностью земли. Этот слой поглощает до 99% жесткого ультрафиолетового солнечного излучения ( $\sim 0,1$  мкм), обладающего большей энергией, чем видимый свет (0,7-0,4 мкм). До поверхности Земли доходит лишь 1% УФ-излучения. Если это излучение проникает сквозь атмосферу в больших количествах, то оно может, поглощаясь тканями живых организмов, разрушать молекулы белков и ДНК. В конечном итоге это приводит к росту числа раковых заболеваний кожи, снижению иммунитета, падению урожайности с/х культур, гибели фитопланктона в океане, нарушению глобального баланса  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в атмосфере и т.д.

Необходимо помнить, что озон в нижних слоях атмосферы является высокотоксичным загрязнителем опасным для растений и животных. Нижние слои атмосферы и стратосфера не перемешиваются.

Озон  $\text{O}_3$  – существенный компонент стратосферы, является продуктом воздействия самого УФ на молекулы кислорода  $\text{O}_2$ :



Существует предположение, что атомы хлора являются **катализатором** процесса разложения озона, а люди невольно поставляют их в стратосферу:



Атомы хлора очень медленно покидают стратосферу. Основным источником хлора являются фреоны. Фреоны – это фторхлоруглеводороды (ХФУ), обладающие уникальным набором физико-химических свойств, предопределившим их широкое применение. Они не растворимы в воде, не горючи, не токсичны и химически инертны. В связи с этим их используют в следующих областях:

- качестве хладагентов в бытовой технике,
- в производстве пористых пластмасс. ХФУ смешивают с жидкой пластмассой при повышенном давлении (Когда давление понижают, пластмасса вспенивается и застывает, а ХФУ – улетучивается в атмосферу),
- электронной промышленности ХФУ применяют для очистки микросхем,
- в качестве носителей в аэрозольных баллончиках.

Кроме ХФУ озоновый слой активно разрушается при полетах сверхзвуковых самолетов и космических кораблей.

Существует также теория, которая приписывает разрушающую роль газам, выходящим из разломов в земной коре. С помощью этой теории объясняется тот факт, что большинство озоновых дыр располагается над геологическими разломами, находящимися около полюсов планеты, над Исландией, Канадой и т.д.

#### *Методы сохранения озонового слоя Земли.*

1. **Пассивный** метод – уменьшение выбросов в атмосферу ХФУ и замена их экологически безопасными веществами.

2. **Активные** методы:

- химическое воздействие на озоновую дыру пропаном или бутаном, которые связывают атомарный хлор в хлороводород,
- воздействие электрическими зарядами, электромагнитным излучением, лазером.

## **25 Энергетический кризис**

Прогресс цивилизации представляет собой процесс замены ручного труда другими источниками энергии. Безусловно, много энергии в настоящее время расходуется впустую, и есть резервы для повышения к.п.д. ее использования, т.е. для энергосбережения. Однако современные объемы производства требуют огромного количества энергии. Следовательно, для устойчивого развития общества нужны устойчивые энергоресурсы.

Вообще, **природные ресурсы** – это различные объекты и явления, которые человек использует для создания материальных благ, обеспечивающих не только поддержание существования человечества, но и постепенное повышение качества жизни.

#### **Классификация ресурсов по источнику происхождения:**

1. **Биологические ресурсы** – это все живые средообразующие компоненты биосферы: продуценты, консументы и редуценты.
2. **Минеральные ресурсы** – это все пригодные для употребления вещественные составляющие литосферы, используемые в хозяйстве как минеральное сырье или источники энергии.
  - а). рудное – из него извлекаются металлы,
  - б). нерудное – из него извлекаются неметаллические компоненты,
  - в). топливно-энергетические – используются как топливо и источник энергии.
3. **Энергетические ресурсы** – совокупность энергии Солнца и космоса, атомно-энергетических, топливно-энергетических, термальных и других источников энергии.

#### **Классификация ресурсов по использованию их в производстве:**

1. земельный фонд (с/х, не с/х, земля населенных пунктов),
2. лесной фонд,
3. водные ресурсы,
4. гидроэнергетические ресурсы,
5. ресурсы фауны,
6. полезные ископаемые.

#### **Классификация ресурсов по степени истощаемости:**

1. Неисчерпаемые: солнечная энергия, энергия ветра, приливов, движущейся воды и т.д.
2. Исчерпаемые:
  - возобновляемые (чистый воздух, пресная вода, плодородная почва, растения и животные и т.д.),

- невозобновляемые (ископаемое топливо, минеральное сырье).

**Ресурсообеспеченность** – это соотношение между величиной природных ресурсов и размерами их использования.

**Ресурсный цикл** — это совокупность превращений и пространственных перемещений определенного вещества или группы веществ на всех этапах использования его человеком, включая его влияние, подготовку к эксплуатации, извлечение из природной среды, переработку, превращение и возвращение в природу.

Наиболее востребованными являются энергоресурсы. Они бывают первичными (уголь, нефть, ядерное топливо, энергия воды, ветра и т.д.) и вторичными (электроэнергия). Для производства электроэнергии необходимо найти источник энергии для вращения генератора. Самый распространенный метод - кипячение воды с последующим получением пара высокого давления, который подается на турбину. Комплекс турбины и генератора называется турбогенератором. Для нагревания воды используют первичные энергоресурсы. Наиболее целесообразным является применение для этих целей солнечной или геотермальной энергии, сжигания мусора и макулатуры. Кроме паровых, используют также газовые и гидротурбины. Турбогенераторы имеют следующие недостатки: небольшое к.п.д. ~ 30-40%; нарушение и изменение поверхности земли при добыче топлива и строительстве водохранилищ; загрязнение и образование токсичных отходов при горении топлива; тепловое загрязнение в результате рассеивания тепла.

В последние десятилетия время резко растет количество потребляемых энергоресурсов, с одной стороны, и заметное их истощение, с другой. Имеет место существенное отставание добычи первичных энергоресурсов от их потребления, т.е. *энергетический кризис*. Вывести человечество из энергетического кризиса могут альтернативные источники энергии и энергосбережение.

Экономия сырой нефти и других видов ископаемого топлива позволит смягчить парниковый эффект, сократить масштабы кислотных дождей, снизить приземный уровень озона и других загрязнителей, возникающих при



сгорании топлива.

Из альтернативных источников энергии наиболее многообещающим является солнечная энергия, так как она относится к возобновляемым источникам энергии и ее запасы практически неистощимы. Астрономы подсчитали, что Солнце будет активно еще несколько миллиардов лет. Солнечная энергия – это кинетическая энергия излучения (в основном света), образующаяся в результате термоядерных реакций в недрах Солнца. В естественных экосистемах Земли лишь небольшая часть  $\sim 1\%$  солнечной энергии используется для фотосинтеза и запасается в виде потенциальной энергии органических веществ. За счет их разложения удовлетворяются энергетические потребности всех остальных компонентов экосистем.

#### *Области применения солнечной энергии.*

### **1. Прямое использование солнечной энергии.**

1.1. *Плоские коллекторы* используются для отопления и горячего водоснабжения зданий. Они состоят из черной поверхности и прозрачного окна над ней. Эта поверхность поглощает световую энергию и превращает ее в тепловую, а «окно» не позволяет теплу рассеиваться в пространство. Чтобы нагреть, воздух пропускают между черной поверхностью и окном, а воду – по трубам.

1.2. *Фотоэлектрические преобразователи или солнечные батареи.* Они изготовлены из особых материалов, в которых падающая энергия света индуцирует поток электронов. Их к.п.д. невелико – 10-20%.

1.3. *Энергобашни* – это сооружения, использующие эффект увеличительного стекла. На площади в несколько гектар устанавливают зеркала, которые фокусируют солнечный свет на котле, находящемся на вершине башни. Высокая температура превращает воду в пар, приводящий в движение обычный турбогенератор. По своей рентабельности они могут конкурировать с атомными электростанциями. Это экологически чистый источник энергии. Недостатком являются необходимость больших площадей и близость потребителя энергии и тепла.

1.4. *Солнечные пруды* – еще более дешевый способ улавливания и аккумуляирования солнечной энергии. Искусственный водоем частично заполняется очень соленой водой, поверх которого находится пресная вода. Плотность соленой воды намного выше, поэтому он остается на дне, почти не смешиваясь с верхним слоем. Солнечные лучи без помех проходят через пресную воду, но поглощаются нижним, превращаясь при этом в тепло. Верхний слой действует, как изоляция не позволяя нижнему остыть. Недостатки те же что и у энергобашен.

1.5. *Электролиз воды с помощью солнечной энергии:*

$2 \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{OH}^-$ . Образующийся при этом водород является экологически чистым топливом, так как единственным побочным продуктом его сгорания является вода. Этот способ находится в стадии разработки.

## **2. Непрямое использование солнечной энергии.**

2.1. *Сжигание биомассы*, образующейся за счет фотосинтеза.

2.2. *Получение метана* в процессе питания бактерий органическими отходами (канализационный ил, навоз и т.д.) в анаэробной среде.

2.3. *Получение спирта* за счет спиртового брожения сахарного сорго, кукурузы, водяного гиацинта и других культур в анаэробных условиях питания дрожжей. Недостатки – использование для перегонки топлива, дающего много копоти, конкуренция за земли с пищевыми культурами и т.д.

Другими альтернативными источниками энергии являются энергия падающей воды, энергия ветра, геотермальная энергия, энергия приливов и отливов, энергия морских волн.

Для нашей страны наиболее перспективным выходом из энергетического кризиса является ядерная энергетика. Ядерная энергия выделяется в больших количествах в ходе ядерных реакций, при которых изменяются сами атомы. Это может проходить двумя способами:

1. **Расщепление тяжелых ядер** одного элемента на два более легких ядра других элементов:  $^{235}\text{U} + 1 \text{ n} \rightarrow 3 \text{ n} + \text{E} + \text{радиоактивные отходы}$ .

При распаде 1 г  $^{235}\text{U}$  выделяется энергии  $7,5 \cdot 10^7$  кДж, больше, чем при

сгорании 2 т каменного угля.

2. **Ядерный синтез** заключается в соединении двух легких ядер в одно более тяжелое ядро другого элемента:  ${}^2\text{D} + {}^3\text{T} \rightarrow {}^4\text{He} + \text{n} + \text{E}$ .

Из 1 г реакционной смеси выделяется  $35 \cdot 10^7$  кДж. Превращение имеющихся на Земле запасов дейтерия ( $\sim 4 \cdot 10^{13}$  т) в гелий могло бы стать практически неисчерпаемым источником энергии для человечества. Однако для проведения реакций ядерного синтеза необходима очень высокая температура (свыше 1 млн. градусов). Пока удалось осуществить только неуправляемую термоядерную реакцию, приводящую к взрыву огромной мощности: на этом процессе основано действие водородной бомбы.

В обоих случаях суммарная масса продуктов реакции меньше, чем у исходного материала. «Теряемая» масса превращается в энергию согласно закону Эйнштейна:  $E=mc^2$ . Основным процесс, идущий на современных АЭС, - это *управляемое расщепление*, при котором энергия высвобождается постепенно в виде тепла. Тепло используется для кипячения воды и получения пара, приводящего в движение обычные турбогенераторы. Процесс расщепления тяжелых ядер происходит в ядерном реакторе, функция которого заключается в поддержании непрерывной цепной реакции, которая не должна переходить в ядерный взрыв.

В настоящее время для получения энергии широко применяется только расщепление тяжелых ядер. Так, например,

*Преимущества АЭС* – высокая эффективность и экономичность, отсутствие вредных выбросов в атмосферу в нормальном режиме работы.

*Недостатки АЭС* - проблема утилизации радиоактивных отходов и возможность аварий, а также увеличение стоимости строительства и эксплуатации АЭС за счет введения новых стандартов их безопасности.

### **Перспективы развития ядерной энергетики.**

- Переход на автоматический режим работы и остановки цепных реакций.
- Применение реакторов-размножителей, в которых, кроме энергии из урана-238 получают плутоний-239, также являющийся ядерным топливом.

- Разработка термоядерных реакторов, в которых может проводиться термоядерный синтез.
- Повышение стандартов, предъявляемых к АЭС и персоналу.

## 26 Радиоактивное загрязнение

### 26.1 Источники и виды ионизирующих излучений

**Ионизирующим излучением** называют любое излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Ионизирующие излучения возникают в процессе естественного спонтанного распада атомных ядер радионуклидов или могут быть получены искусственно. *Радионуклиды* – общее название группы химических элементов или их изотопов, имеющих нестабильные атомные ядра, способные самопроизвольно распадаться с испусканием характерных излучений. Такой распад называют радиоактивным распадом, а способность атомных ядер к нему – радиоактивностью. В результате радиоактивного распада происходит изменение атомного номера или массового числа атомных ядер. Изменение атомного номера приводит к превращению одного химического элемента в другой; при изменении только массового числа происходит взаимопревращение изотопов одного элемента. К явлению радиоактивности относят также изменение энергетического состояния ядер, при котором их состав остается неизменным. Наряду с термином "радионуклиды" употребляют словосочетания "радиоактивные вещества" и "радиоактивные элементы".

Ионизирующие излучения воздействуют на нашу планету с самого начала ее образования (~4.6 млрд. лет). Возникновение и развитие жизни на Земле происходило на фоне естественного ионизирующего излучения. *Естественное ионизирующее излучение* (другими словами, естественный радиационный фон, естественная радиация) складывается из излучения, приходящего из космического пространства (галактическое и солнечное излучения) и излучения от радионуклидов, рассеянных в земной коре (почве,

горных породах), воздухе, воде и внутри живых организмов. Количество естественных (изначально существующих в природе) радионуклидов невелико – немногим более 60. Среди них наибольший вклад в формирование естественного радиационного фона вносят следующие изотопы:  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Ru}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  и некоторые другие. Наиболее распространенным среди естественных радионуклидов является  $^{238}\text{U}$  – на его долю приходится 99,8% от общего количества радионуклидов.

Естественная радиация не оказывает неблагоприятного влияния на живые организмы, населяющие биосферу, поскольку они к ней приспособлены. Опасность (очень значительную!) представляет искусственное ионизирующее излучение, обусловленное деятельностью человека. *Искусственное ионизирующее излучение* создается за счет действия целого ряда антропогенных факторов: разработка радиоактивных руд, сжигание минерального сырья, ядерные взрывы (военные и в мирных целях), применение радионуклидов в науке и различных отраслях хозяйства (медицина, энергетика и др.), ядерно-технические установки (подводные лодки и др.), аварии на атомных электростанциях и предприятиях, обращение радиоактивных отходов. Искусственное ионизирующее излучение является источником радиационного и радиоактивного загрязнения биосферы: радиационное обусловлено действием ионизирующих излучений, радиоактивное связано с превышением естественного уровня содержания радионуклидов в окружающей среде. В настоящее время в биосфере в результате деятельности человека появилось большое количество искусственных радионуклидов – порядка нескольких сотен.

Ионизирующие излучения бывают двух типов:

1. **Фотонные**, представляющие собой коротковолновые электромагнитные колебания:

- гамма ( $\gamma$ ) ( $\lambda \leq 1 \text{ \AA}$ );
- рентгеновское ( $\lambda = 0,06\text{-}20 \text{ \AA}$ ).

2. **Корпускулярные**, состоящие из элементарных частиц, заря-

женных положительно или отрицательно, либо нейтральных:

- *альфа* ( $\alpha$ ) – поток ядер атомов изотопа  $^4\text{He}$ , состоящих из 2-х протонов и 2-х нейтронов и с положительным зарядом, равным двум элементарным зарядам\*;
- *бета* ( $\beta$ ) – поток электронов и/или позитронов (частиц с массой, равной массе электрона, но положительным зарядом);
- *нейтронное* – поток нейтронов (незаряженных элементарных частиц);
- *протонное* излучение ускорителей и некоторые другие.

Естественными видами ионизирующих излучений являются  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения, остальные получают искусственно в специальных устройствах (рентгеновская трубка, ускорители заряженных частиц – циклотроны, фазотроны, синхрофазотроны и др.).

## 26.2 Биологическое действие ионизирующих излучений

Биологическое действие ионизирующих излучений заключается в том, что поглощенная живым организмом энергия расходуется на разрыв химических связей и разрушение клеток живой ткани.

Основными характеристиками всех видов ионизирующих излучений, определяющими эффект их воздействия на биологические объекты, являются ионизирующее действие и проникающая способность. *Ионизирующее действие* заключается в том, что при прохождении излучения по тканям живого организма нейтральные атомы и молекулы, входящие в состав тканей, приобретают положительный или отрицательный заряд, превращаясь, таким образом, в ионы. *Проникающая способность* – это способность ионизирующих излучений проникать в глубину тканей живого организма. Ионизирующее действие излучений возрастает, а проникающая способность падает в ряду:

гамма  $\rightarrow$  рентгеновское  $\rightarrow$  нейтронное  $\rightarrow$  бета  $\rightarrow$  альфа

Основные свойства  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений приведены в **Таблице 1**.

---

\* Элементарный заряд равен заряду одного электрона:  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

**Таблица 1.** Основные свойства  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений.

Вид излучения	Энергия	Ионизирующее действие	Проникающая способность
альфа	от 3 до 9 МэВ	очень высокое	до 10 см в воздухе и 0,02-0,06 мм в биологической ткани
бета	от 0,0005 до 3,5 МэВ	высокое	до 18 м в воздухе и не более 2,5 мм в биологической ткани
гамма	от 0,01 до 3 МэВ	низкое	несколько сотен метров в воздухе и 10-15 см в биологической ткани

Различают непосредственно ионизирующие и косвенно ионизирующие излучения. К *непосредственно* ионизирующим относят  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения, протонное излучение ускорителей и некоторые другие, поскольку они состоят из частиц, кинетическая энергия которых достаточна для ионизации при столкновении с атомами вещества. Нейтронное, гамма и рентгеновское излучения являются *косвенно* ионизирующими, так как они представляют собой поток незаряженных частиц или электромагнитных волн, взаимодействие которых со средой приводит к возникновению таких заряженных частиц, которые уже способны непосредственно вызывать ионизацию.

Действие ионизирующих излучений на живой организм обычно называют облучением. Облучение может быть внешним и внутренним. *Внешнее облучение* представляет собой облучение от источника, находящегося вне организма. *Внутреннее облучение* наблюдается при попадании радионуклидов внутрь организма (с воздухом, водой, пищей). Внутреннее облучение во много раз опаснее внешнего, так как в этом случае облучение непрерывно и ему подвергаются практически все органы; отсутствует защитное действие кожных покровов; время облучения увеличивается и совпадает со временем пребывания радиоактивных веществ в организме; нельзя использовать методы защиты, разработанные для внешнего облучения и т.д. При внешнем облучении опасность

ионизирующего излучения прямо пропорциональна его проникающей способности, при внутреннем – ионизирующему действию.

В результате облучения внутри тканей живого организма протекают сложные процессы, которые делят на два этапа:

1. *Первичные или пусковые процессы*, протекающие в начальный момент облучения в молекулах живых клеток и окружающего их субстрата. Их осуществление идет *постадийно*:

- *физическая стадия* ( $t \sim 10^{-13}$  с) – поглощение энергии излучения, сопровождаемое ионизацией (отрыв электрона от атома) и возбуждением (переход электрона на более удаленную от ядра орбиту) атомов в молекулах биологической ткани;
- *физико-химическая стадия* ( $t \sim 10^{-10}$  с) – перераспределение избыточной энергии возбужденных атомов, в результате чего происходит разрыв химических связей и появление частиц, обладающих высокой химической активностью – свободных радикалов, пероксидов и др.;
- *химическая стадия* ( $t \sim 10^{-6}$  с) – взаимодействие продуктов предшествующих реакций (ионов, свободных радикалов и пр.) друг с другом, а также с окружающими их молекулами биологической ткани, что приводит к возникновению биологически активных соединений, разрушающих структуру живой клетки, и вызывает, таким образом, ее гибель.

2. *Развитие лучевых эффектов или поражений*, являющихся следствием изменений на клеточном уровне и заключающихся в нарушении нормального течения биохимических реакций, обмена веществ и изменении структуры и функций отдельных органов и систем живого организма. Выделяют *три типа* лучевых эффектов:

- *соматические* (телесные) – развиваются в ранние сроки после облучения: лучевые ожоги, катаракта глаз, острая и хроническая лучевые болезни;
- *соматико-стохастические* (вероятностные) – развиваются в отдаленные сроки после облучения: нарушение кроветворения (лейкемия, лейкозы и др.), сокращение продолжительности жизни, злокачественные новообразования,



эмбриотоксический и тератогенный эффекты;

- *генетические* – наследственные изменения: генные мутации и хромосомные aberrации.

Конечный эффект облучения является суммарным результатом облучения клеток и последующих *процессов их восстановления*. Восстановление связано с протеканием ферментативных реакций и обусловлено энергетическим обменом.

Различные органы и ткани человеческого организма обладают разной чувствительностью к ионизирующим излучениям. Если в качестве критерия радиочувствительности принять морфологические изменения, то по степени возрастания чувствительности органы и ткани организма человека можно расположить в следующем порядке: нервная ткань, хрящевая и костная ткани, мышечная ткань, соединительная ткань, щитовидная железа, пищеварительные железы, легкие, кожа, слизистые оболочки, половые железы, лимфоидная ткань, красный костный мозг. *Критическим органом* называют орган, ткань, часть тела или все тело, облучение которых причиняет наибольший ущерб здоровью данного лица или его потомству.

Биологическое действие ионизирующих излучений характеризуется рядом особенностей:

1. Неощутимость действия на организм человека. У людей отсутствуют органы чувств, которые воспринимали бы ионизирующие излучения. Поэтому человек может вдохнуть, проглотить радионуклид без всяких первичных ощущений.

2. Наличие латентного (скрытого) периода проявления лучевого поражения. Видимые изменения кожных покровов, недомогание, характерные для лучевого заболевания, проявляются не сразу, а спустя некоторое время.

3. Наличие эффекта суммирования поглощенных доз, которое происходит скрыто. Если в организм человека систематически будут попадать радиоактивные вещества, то со временем дозы суммируются, что неизбежно приводит к лучевым поражениям.

4. Поражающие свойства радионуклидов не могут быть уничтожены ни химическим, ни каким-либо другим способом, так как процесс радиоактивного распада не зависит от внешних факторов.

### 26.3 Количественная оценка облучения

Для количественной оценки облучения используются следующие величины: активность радионуклида, экспозиционная доза, поглощенная доза, эквивалентная доза, эффективная доза.

Распад всех атомных ядер данного радиоактивного элемента происходит не одновременно, а постепенно. В каждую секунду распаду подвергается лишь некоторая часть от общего числа атомных ядер радионуклида. Эта неизменная для каждого радионуклида величина называется *постоянной радиоактивного распада*  $\lambda$  (или радиоактивной постоянной) радионуклида и представляет собой вероятность распада на одно ядро в единицу времени. Для характеристики устойчивости ядер к радиоактивному распаду используется еще одна важная величина – период полураспада. *Период полураспада*  $T_{1/2}$  – это время, в течение которого число ядер данного радионуклида в результате самопроизвольного радиоактивного распада уменьшается в два раза. В зависимости от величины периода полураспада различают короткоживущие ( $T_{1/2} \leq 1$  год), среднеживущие ( $1 \text{ год} < T_{1/2} \leq 100$  лет) и долгоживущие изотопы ( $T_{1/2} > 100$  лет).

Количество радиоактивного вещества принято выражать не в единицах массы, а в единицах активности. *Активность радионуклида*  $A$  – это мера его количества, выраженная числом актов ядерного распада в единицу времени:

$$A = \frac{N_A m \lambda}{M},$$

где  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  – число Авогадро,  $m$  – масса радиоактивного изотопа,  $M$  – молекулярная масса изотопа.

Для характеристики фотонных излучений по эффекту ионизации, вызываемому в воздухе, используется величина экспозиционной дозы.

*Экспозиционная доза*  $D_X$  – это суммарный электрический заряд ( $dQ$ ) ионов одного знака, образующихся в единице объема сухого воздуха с массой  $dm$  в условиях электронного равновесия:

$$D_X = \frac{dQ}{dm}$$

Основными дозиметрическими величинами в области радиационной безопасности являются поглощенная и эквивалентная дозы.

*Поглощенная доза* ионизирующего излучения  $D$  – это величина средней энергии излучения ( $d\mathcal{E}$ ), переданной им объему вещества в пересчете на единицу массы ( $dm$ ) этого объема:

$$D = \frac{d\mathcal{E}}{dm}$$

*Эквивалентная доза* ионизирующего излучения  $H$  – это произведение поглощенной дозы на средний коэффициент опасности вида ионизирующего излучения  $W_R$  (так называемый "коэффициент качества") в данном элементе объема биологической ткани:

$$H = DW_R$$

Коэффициент качества является безразмерным числом и характеризует относительную биологическую эффективность различных видов ионизирующих излучений. Величина коэффициента качества зависит от энергии излучения и может составлять от 1 до 20 (см. **Таблицу 2**).

При одновременном воздействии нескольких видов излучения с различными коэффициентами качества эквивалентная доза определяется суммой эквивалентных доз для этих видов излучения:

$$H = \sum_R DW_R$$

В качестве меры риска возникновения стохастических эффектов при облучении всего тела человека и отдельных его органов и тканей было введено понятие эффективной эквивалентной (или просто эффективной) дозы облучения.

**Таблица 2.** Значения коэффициентов качества для различных видов излучений

Вид излучения и энергия	$W_R$
Фотоны любых энергий	1
Электроны любых энергий	1
Нейтроны с энергией менее 10 КэВ	5
от 10 до 100 КэВ	10
от 100 КэВ до 2 МэВ	20
от 2 МэВ до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
$\alpha$ -Частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Эффективная доза облучения  $E$  – это сумма произведений эквивалентных доз в различных органах и тканях и соответствующих коэффициентов риска для тканей организма  $W_T$  ("взвешивающих" коэффициентов):

$$E = \sum_T H W_T$$

Взвешивающие коэффициенты учитывают разную чувствительность органов и тканей организма к излучению, их сумма всегда равна 1. Значения  $W_T$  для отдельных органов и тканей человеческого организма, определенные экспериментально, представлены в **Таблице 3**.

**Таблица 3.** Значения взвешивающих коэффициентов

Орган (ткань)	$W_T$	Орган (ткань)	$W_T$
Половые железы (гонады)	0,20	Молочные железы	0,05
Красный костный мозг	0,12	Щитовидная железа	0,05
Толстый кишечник	0,12	Печень	0,05
Легкие	0,12	Пищевод	0,05
Желудок	0,12	Кожа	0,01
Мочевой пузырь	0,05	Поверхность костей	0,01

Отношение приращения доз ионизирующего излучения за интервал времени к этому интервалу носит название *мощности* доз.

## **26.4 Нормирование ионизирующих излучений**

При нормировании ионизирующих излучений исходили из концепции, что абсолютно безопасных уровней облучения нет. Нормативы должны полностью исключать возможность возникновения соматических эффектов и ограничить (свести к приемлемому для индивидуума и общества) уровень возможных стохастических эффектов. Основными нормативными документами, регламентирующими уровни воздействия ионизирующих излучений на территории Российской Федерации с 02.07.1999 являются "Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009" и "Санитарные правила СП 2.6.1.2523-09".

Нормы основаны на следующих основных принципах радиационной безопасности:

- не превышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников излучения ("принцип нормирования");
- запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением ("принцип обоснования");
- поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения ("принцип оптимизации").

Нормы распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

- от техногенных источников излучения в условиях нормальной эксплуатации;
- в результате радиационной аварии;
- от естественных источников излучения;

- при медицинском облучении.

В соответствии с НРБ-99 выделяют следующие к а т е г о р и и и г р у п п ы облучаемых лиц:

1. П е р с о н а л – лица, постоянно или временно работающие непосредственно с источниками ионизирующих излучений (*группа А*) и лица, по условиям работы испытывающие их воздействие (*группа Б*).

2. Н а с е л е н и е – все остальное население страны, республики, области или края, включая персонал вне сферы и условий их производственной деятельности.

Для указанных категорий облучаемых лиц предусматриваются *три класса нормативов*:

- *основные пределы доз*;
- *допустимые уровни*;
- *контрольные уровни*.

Основные пределы доз установлены для *трех групп* критических органов:

*I группа* – половые железы (гонады), красный костный мозг и все тело;

*II группа* – все внутренние органы (печень, почки, селезенка, легкие и др.), щитовидная железа, жировая ткань, нервная и мышечная ткани, хрусталики глаз и другие органы, не относящиеся к I и III группам;

*III группа* – кожа, костная ткань, предплечья, кисти, лодыжки и стопы.

Основные пределы доз не включают в себя:

- дозу, обусловленную естественным радиационным фоном;
- дозу, получаемую пациентом при медицинском обследовании и лечении;
- дозы вследствие радиационных аварий.

Основные пределы доз по НРБ-99 представлены в **Таблице 4**. Естественный радиационный фон для России составляет в среднем 2 мЗв в год.

**Таблица 4.** Основные пределы доз по НРБ-99/2009

Нормируемая величина	Категория облучаемых лиц	
	Персонал (группа А)*	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза: в органах II группы в органах III группы	150 мЗв/год 500 мЗв/год	15 мЗв/год 50 мЗв/год

\* Основные пределы доз, как и допустимые уровни облучения персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А.

Для обнаружения ионизирующих излучений, измерения их энергии и других характеристик используются различные приборы и устройства: сцинтилляционные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера, ионизационные камеры, камеры Вильсона, рентгенометры, радиометры, дозиметры.

### 26.5 Защита от ионизирующих излучений

Обеспечение радиационной безопасности предопределяется комплексом многообразных защитных мероприятий, основанных на знании законов распространения ионизирующих излучений и характера их взаимодействия с веществом, главными из которых являются следующие:

- доза внешнего облучения прямо пропорциональна интенсивности излучения и времени воздействия;
- интенсивность излучений от точечного источника прямо пропорциональна количеству квантов или частиц, возникающих в нем за единицу времени, и обратно пропорциональна квадрату расстояния;
- интенсивность излучения может быть уменьшена с помощью экранов.

Из этих закономерностей вытекают основные *принципы обеспечения*

*радиационной безопасности:*

- "защита количеством" – уменьшение мощности источников до минимальных величин;
- "защита временем" – сокращение времени работы (контакта) с источниками;
- "защита расстоянием" – увеличение расстояния от источников до работающих людей;
- "защита экранированием" – экранирование источников излучения материалами, поглощающими ионизирующие излучения (свинец, железо, бетон, бор- и свинецсодержащее стекло и др.).

В основе радиационной защиты при непосредственной работе с источниками ионизирующих излучений (категория персонал) лежат профилактические мероприятия, которые направлены на строгое выполнение соответствующих правил, и постоянный дозиметрический контроль уровней радиационного загрязнения окружающей среды, производственных помещений и оборудования, продуктов питания и воды. Главными принципами защиты персонала от облучения являются следующие:

- использование основных принципов защиты;
- герметизация производственного оборудования для изоляции процессов, которые могут быть источниками поступления радиоактивных веществ во внешнюю среду;
- мероприятия планировочного характера;
- применение санитарно-технических устройств и оборудования, использование защитных материалов;
- использование средств индивидуальной защиты и санитарная обработка персонала; выполнение правил личной гигиены.

## **26.6 Утилизация радиоактивных отходов**

При делении ядер урана или других тяжелых элементов, образуются ядра более легких атомов – йода, цезия, стронция, кобальта и примерно 30



других. Обычно они представляют собой их нестабильные изотопы. Они переходят в стабильное состояние, испуская элементарные частицы и высокоэнергетическое *радиоактивное излучение*. Кроме непосредственных продуктов деления ядерного топлива нестабильными могут стать и другие вещества внутри и вокруг ядерного реактора, поглотив испускаемые при ядерной реакции нейтроны. Все эти прямые и косвенные продукты расщепления называются **радиоактивными отходами**. Из таких же веществ состоят радиоактивные осадки при ядерном взрыве.

При нормальной работе АЭС радиоактивные продукты ядерного деления остаются в топливных элементах (циркониевые стержни), а вторичные радиоизотопы – внутри защитной оболочки реактора. Таким образом, заметного поступления радиоактивных веществ в окружающую среду не происходит. Но существует проблема радиоактивных отходов. Они находятся в процессе радиоактивного распада, т.е. содержащиеся в них нестабильные изотопы испускают элементарные частицы и радиацию, переходя в стабильное состояние и теряя радиоактивность. Проблема захоронения радиоактивных отходов включает два аспекта:

- *кратковременная изоляция* (несколько лет) короткоживущих изотопов, после чего обращаться с ними гораздо легче и безопаснее, чем вначале;
- окончательная *долговременная изоляция* (десятки тысяч лет), обеспечивающая защиту от долгоживущих изотопов.

При кратковременной изоляции, использованные топливные элементы хранятся в глубоких заполненных водой резервуарах на территории АЭС. Вода поглощает продолжающееся выделяться тепло и защищает от радиации. Для долговременной изоляции радиоактивные отходы концентрирую, затем заливают бетоном и помещают в стальные герметичные контейнеры, которые захоранивают на большой глубине в устойчивых толщах горных пород.

Взрывообразно возрастающее народонаселение Земли быстро переполняет природные экосистемы, основу биологического разнообразия и сохранения устойчивого, самовозобновляемого существования биосферы. Поэтому важнейшее условие дальнейшего прогресса человечества – прекращение роста его *численности* и снижение ее отрицательного воздействия на природную среду. Только добившись собственного популяционного равновесия, можно и дальше развивать культуру, технологию, цивилизацию в целом.

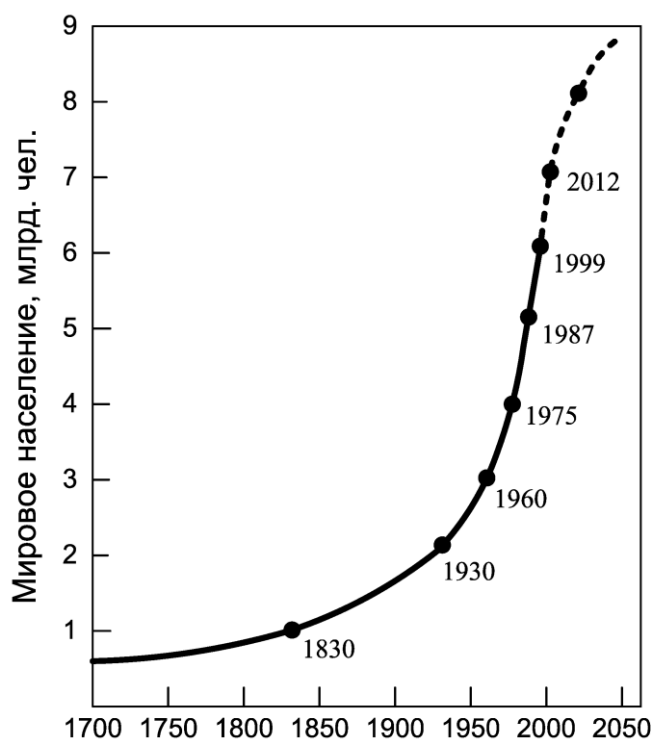
Связь человечества с окружающей средой определяется не только численностью народонаселения, но и *стилем жизни*. При высокообеспеченном стиле жизни потребляется множество материальных благ, что требует, как использования ресурсов для их изготовления, так и дополнительных источников энергии для пользования ими. Производство материальных и энергетических ресурсов, сжигание топлива и выбрасывание отслуживших свой срок изделий приводят к накоплению отходов, загрязняющих среду. Очевидно, что более простой стиль жизни, наносит меньший ущерб среде.

Негативное влияние нашего стиля жизни на окружающую среду может быть либо значительно ослаблено, либо усугублено в зависимости от уровня **экологического сознания** общества. Таким образом, связь между численностью населения, стилем жизни и экологическим сознанием можно описать следующей формулой:

$$\text{Экологические} = \frac{\text{Численность населения} \times \text{Стиль жизни}}{\text{Уровень экологического сознания}} \\ \text{последствия}$$

Анализ этой формулы показывает, что существует две самостоятельные проблемы народонаселения. Одна из них касается промышленных стран, где связана не столько с численностью населения, сколько с накоплением загрязняющих веществ, отходов и другими последствиями обеспеченного образа жизни. Другая проблема стоит перед народами слабо развитых стран, в

которых проживает большинство населения Земли. Здесь люди, ежедневно озабоченные выживанием, вырубая леса, истощают пастбища и пашни. Это приводит к эрозии почвы, потере плодородия, заилению рек и озер, резко сокращает биологическое разнообразие, приводя к деградации экосистем. По существу, народы этих стран ради выживания в ближайшие годы совершают в долгосрочной перспективе экологическое самоубийство.



Таким образом, совершенно ясно, что даже при нынешней численности населения невозможно поддерживать устойчивый достойный стиль жизни, обеспечивающий нормальное питание, одежду и кров, без резкого повышения уровня экологического сознания, ведущего к улучшению использования и охраны окружающей среды.

Рис. 13. Схема демографического взрыва.

Последние 150 лет население Земли растет взрывообразными темпами. С 1830 г. по 1930 г. численность человечества резко выросла с 1 до 2 млрд. человек. Через 30 лет она достигла 3 млрд., через 15 лет – 4 млрд., еще через 12 лет – 5 млрд. человек (рис. 13). Ежегодно прирост населения Земли составляет около 90 млн. человек. Однако в последние годы темпы прироста начали снижаться.

Путем экстраполяции накопленных данных можно сделать прогноз о том, что к концу XXI века численность населения может составить порядка 10 млрд. человек. Но этот прогноз не учитывает углубляющиеся экологические проблемы, ставящие под сомнение существование такого количества людей в нашей биосфере. Уже сейчас происходят серьезные климатические

сдвиги, быстро истощаются ресурсы, деградируют экосистемы. Чтобы человечество устойчиво развивалось, требуется дальнейшее снижение темпов прироста населения, серьезные изменения, как в стиле жизни, так и в уровне экологического сознания.

### **27.1 Рождаемость и смертность, половозрастные пирамиды, причины демографического взрыва**

Ключевым фактором, определяющим диспропорции в темпах прироста населения, является **суммарный коэффициент рождаемости (СКР)**. СКР – это среднее число детей, которое рождает каждая женщина в течение жизни.

СКР равный двум обеспечивает неизменную численность населения, т.е. **простую воспроизводящую рождаемость**: два ребенка заменят отца и мать, когда те умрут. СКР ниже 2 приведет к снижению численности населения, потому что родительское поколение будет замещено не полностью, а СКР выше двух, обусловит рост населения, так как число родителей будет возрастать с каждым поколением.

СКР в высокоразвитых странах равен 1,9. Однако население до сих пор растет, потому что более высокая рождаемость в прошлом привела к тому, что нынешнее поколение достаточно многочисленно и в настоящее время, т.е. число новорожденных здесь превышает число умерших.

СКР в менее развитых странах составляет 4,8 без Китая и 4,1, если его учитывать. Это более чем вдвое превышает простую воспроизводящую рождаемость и приводит к удвоению численности населения в каждом поколении.

Различие в величинах СКР в высокоразвитых и слаборазвитых странах, обуславливает резко отличающиеся по виду **половозрастные пирамиды**, которые отражают возрастной и половой состав населения. Их обычно изображают в виде гистограммы, демонстрирующей количество людей в каждой возрастной группе, с разницей в пять лет. Полосы, соответствующие мужской половине населения, располагают с одной стороны графика, женской – с

другой (рис. 14). Половозрастная пирамида высокоразвитых стран (рис. 14, Б) выглядит как колонна, отражая тот факт, что численность населения разного возраста примерно одинакова. Это объясняется тем, что СКР близок к простому воспроизводящему уровню, когда каждая возрастная группа замещает предыдущую.

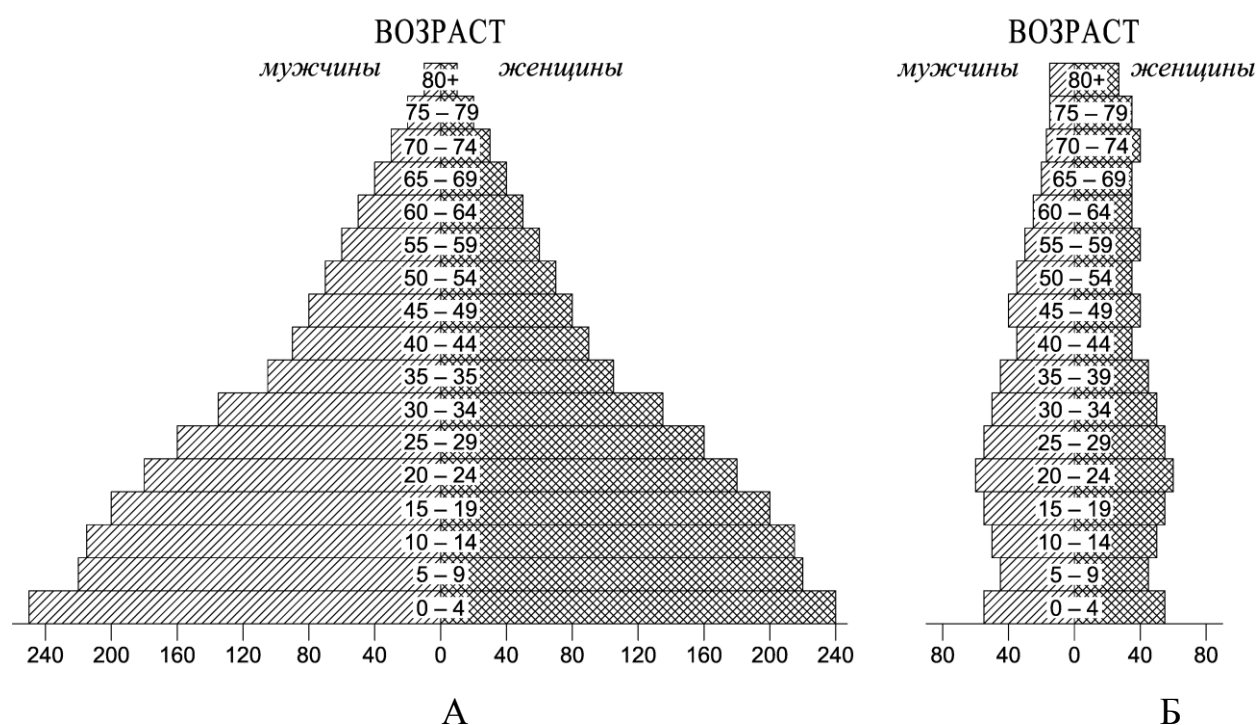


Рис. 14. Половозрастные пирамиды, составленные по данным за 1984 г. для развивающихся (А) и развитых (Б) стран.

В то же время половозрастная пирамида развивающихся стран представляет собой треугольник, так как число детей, произведенных на свет каждой возрастной группой, примерно вдвое превышает ее собственную численность (рис. 14, А). Это приводит к населению с преобладанием молодежи и относительно небольшой долей людей среднего и старшего возрастов, что предопределяет высокий **демографический потенциал** населения развивающихся стран. В таких странах около 40 % населения моложе 15 лет и много людей без основательной профессиональной подготовки и жизненного опыта. Здесь перед государством стоит грандиозная задача дать моло-

дежи образование, профессию и возможность продуктивно работать. При сохранении высокого СКР в развивающихся странах численность населения будет неоднократно удваиваться, пока за ее регулирование не возьмутся такие лимитирующие факторы, как голод, болезни и социальные потрясения.

Предпринимаемые в мире усилия в области планирования семьи привели к существенному снижению СКР. Если предположить, что эта тенденция сохранится и в будущем, развивающиеся страны приблизятся к уровню простой воспроизводящей рождаемости примерно к 2025 г. Но при нынешнем демографическом потенциале их население будет продолжать заметно расти до 2080 г.

На рождаемость и смертность влияет множество факторов: болезни, война, семейные и национальные традиции, экономика, религия, нравственные идеалы и т.д. Сравнивая темпы прироста населения в разных странах, население делят на группы по 1000 человек и рассчитывают среднее число рождений и смертей на 1000 человек в год. Эти показатели называют **общим коэффициентом рождаемости (ОКР)** и **смертности (ОКС)** соответственно. Вычитая ОКС из ОКР, получают **естественный прирост** (или убыль, если смертность выше рождаемости) **населения (ЕПН)**. Темпы прироста можно выразить в процентах, если результат разделить на десять:

$$\text{ОКР}-\text{ОКС}=\text{ЕПН на }1000\text{ чел. : }10=\text{ЕПН в \%}.$$

Современные статистические данные показывают, что в группе высокоразвитых стран ОКР в среднем равен 15, а ОКС – 9, отсюда:

$$\text{ЕПН}=15-9=6\text{ (на }1000\text{ чел.)}, \text{ ЕПН}=6:10=0,6\%.$$

В то же время в группе слаборазвитых стран ОКР – 31, а ОКС – 10, что дает ЕПН=2,1 %.

Рассмотрим демографический взрыв с точки зрения того, как и почему рождаемость и смертность меняются со временем. Еще в конце 1800-х годов не было ничего необычного в том, что родители заводили по 7-10 детей, из которых только 1-3 доживали до половой зрелости. Эпидемии заболеваний типа оспы, ветрянки, дизентерии, дифтерии, скарлатины, кори, коклюша

уносили множество детских жизней. Рождаемость была высокой – ОКР достигал 40-50, но из-за высокой смертности в детском возрасте ОКС был почти таким же. Следовательно, население если и росло, то медленно. В середине 1800-х гг. открытие антибиотиков, создание вакцин, улучшение санитарных условий обусловило резкое снижение детской смертности, повысилась выживаемость. ОКС снизился до 10, что и явилось причиной демографического взрыва. Таким образом, численность детей предопределяет количество людей репродуктивного возраста и существенно влияет на рост населения. В то же время пострепродуктивная продолжительность жизни оказывает минимальное воздействие на рост населения.

## 27.2 Решение проблемы народонаселения

Гуманным способом регулирования численности населения является снижение рождаемости до уровня смертности. Переход от «примитивной» стабильности (высокая рождаемость и высокая смертность) к «современной» (низкая рождаемость и низкая смертность) называется **демографическим переходом**. Он включает в себя четыре стадии (рис. 15):

**Фаза 1.** Уровень рождаемости высок, но детская смертность тоже высока (слабое развитие медицины). В результате население если и растет, то медленно.

**Фаза 2.** Общество научилось контролировать заболевания, которые приводили к высокой пререпродуктивной смертности. Она резко снизилась, но рождаемость осталась высокой, что вызвало быстрый рост населения.

**Фаза 3.** Социальные и/или экономические изменения приводят к снижению рождаемости. В конце этой фазы численность населения вновь стабилизируется, т.к. снижение детской смертности компенсируется низкой рождаемостью.

**Фаза 4.** Новая стабильная численность населения поддерживается за счет низкой рождаемости и низкой смертности.

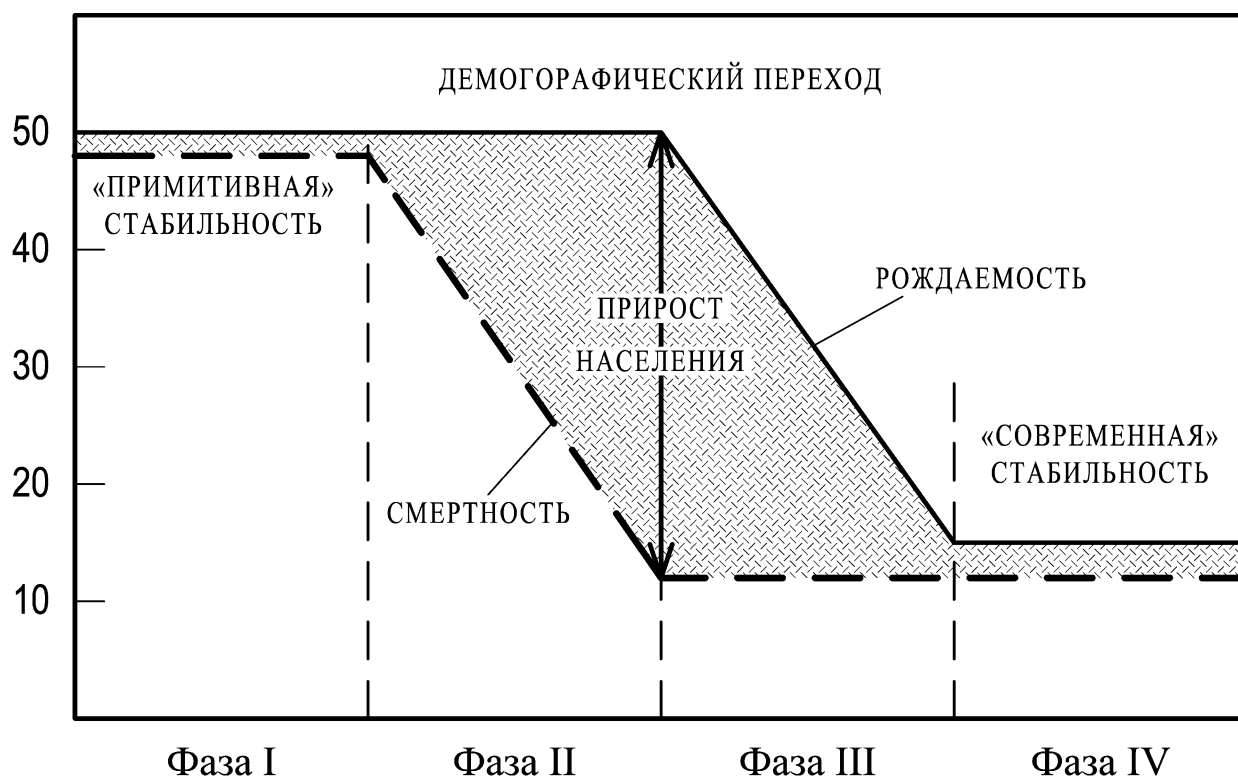


Рис. 15. Схема демографического перехода.

В промышленных странах в основном завершилась третья фаза демографического перехода, а в развивающихся — она только начинается. Для ускорения этого процесса более ста стран, на долю которых приходится 95% населения планеты, сейчас осуществляют программы планирования семьи по следующим основным направлениям:

1. Консультация семейных пар и одиноких клиентов по вопросам биологии размножения, по особенностям различных методов контрацепции.
2. Предоставление на выбор бесплатных противозачаточных средств.
3. Консультации по вопросам здоровья матери и ребенка в до- и послеродовой периоды. Упор на полноценное питание, санитарно-гигиенические нормы и медицинское обслуживание.
4. Ознакомление с преимуществами для здоровья перерывов между беременностями. Упор на выкармливание грудью и на естественном способе контрацепции, поскольку у кормящих матерей обычно не бывает овуляций. Кормление грудью и связанное с ним контрацептивное действие могут длиться до



достижения ребенком 2,5-3 лет. Такие интервалы между беременностями способны снизить общую рождаемость наполовину.

5. Поскольку ни один метод контрацепции не дает полной гарантии, нежелательные беременности возможны. Поэтому должны быть разрешены официальные аборты, после которых практически не бывает отрицательных для здоровья женщины последствий.

Некоторые страны дополняют программы планирования семьи различными экономическими стимулами и/или запретами. Типичный пример - Китай, самая крупная развивающаяся страна с более чем миллиардным населением. Была поставлена цель – семья с одним ребенком. Для ее достижения была разработана программа поощрений и наказаний. К первым относятся:

1. оплачиваемый отпуск женщинам, перенесшим операции, снижающие рождаемость (стерилизацию, аборт);
2. ежемесячное пособие семье, имеющей только одного ребенка;
3. преимущества при устройстве на работу для единственного ребенка в семье;
4. дополнительное питание для единственного ребенка;
5. преимущества семей с одним ребенком при обеспечении жильем;
6. привилегированное медицинское обслуживание родителей, у которых единственный ребенок – девочка (в Китае предпочитают сыновей и стремятся заводить детей, пока не родится сын).

Санкции за чрезмерное количество детей включают:

1. возвращение семьей сумм, полученных за первого ребенка, в случае рождения второго;
2. выплата «налога» за второго ребенка;
3. более высокая плата за питание для второго ребенка;
4. отсутствие декретного отпуска и оплаты медицинских расходов, предоставляемых при рождении первого ребенка.

Вместе с улучшением экономической ситуации такие поощрения и наказания позволили Китаю добиться резкого снижения СКР с 4,5 до 2,4.

Подобные меры могут применяться нацией только по собственной инициативе. Одна страна не в праве наложить такие санкции на другую, но она может их поддерживать, так как от перенаселения пострадает каждый житель планеты.

## **28 Инженерная экология**

### **28.1 Защита атмосферы от газовых выбросов и пыли**

**Цель** защиты атмосферы от вредных выбросов и выделений:

- обеспечение концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны и приземном слое атмосферы равным или менее ПДК.
- обеспечение требований техники безопасности и санитарно-технических норм;
- уменьшение износа оборудования;
- возврат и использование ценных веществ.

Цель достигается применением следующих методов и средств:

- рациональным размещением источников вредных выбросов по отношению к населенным зонам и рабочим местам;
- рассеиванием вредных веществ в атмосфере для снижения концентраций в приземном слое, удалением вредных выделений от источника образования посредством местной или общеобменной вытяжной вентиляции;
- применением средств очистки воздуха от вредных веществ;
- применением СИЗ.

**Рациональное размещение** предусматривает максимально возможное удаление промышленных объектов-загрязнителей воздуха от населенных зон, создание вокруг них санитарно-защитных зон; учет рельефа местности и преобладающего направления ветра при размещении источников загрязнений и жилых зон по отношению друг к другу.

**Основными параметрами систем очистки воздуха (газа)** являются эффективность и гидравлическое сопротивление.

Эффективность определяет концентрацию вредной примеси на выходе аппарата, а гидравлическое сопротивление — затраты энергии на пропуск очищаемых газов через аппараты. Чем выше эффективность и меньше гидравлическое сопротивление, тем лучше.

Эффективность очистки в одном аппарате или системе аппаратов:

$$\eta = 1 - (C_{\text{вых}} / C_{\text{вх}}),$$

где  $C_{\text{вых}}$  и  $C_{\text{вх}}$  — массовые концентрации примесей в воздухе до и после аппарата или системы аппаратов, мг/м<sup>3</sup>. Если эффективности одного аппарата недостаточно для обеспечения требуемой чистоты отходящего воздуха, последовательно ставят несколько газоочистных аппаратов, суммарную эффективность которых можно определить по формуле:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n),$$

где  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$  — эффективность каждого аппарата в системе очистки. Зная концентрацию вредного вещества в очищаемом воздухе  $C_{\text{вх}}$  и установленный ПДВ, можно определить требуемую эффективность истки газоочистного аппарата или их системы по каждому веществу по формуле:

$$\eta_{\text{треб.}} = 1 - (\text{ПДВ} / Q * C_{\text{вх}}),$$

где  $Q$  — расход отходящего воздуха, м<sup>3</sup>/с; ПДВ, мг/с.

Номенклатура существующих газоочистных аппаратов значительна, а их технические возможности позволяют обеспечивать высокие степени очистки отходящих газов практически по всем веществам.

### *28.1.1 Системы очистки газовых выбросов от пыли*

Для санитарной очистки газов от пыли применяются аппараты, различающиеся по конструкции и принципу осаждения частиц. Их подразделяют на четыре группы: «сухие» механические, «мокрые» механические, фильтры и электрофильтры.

Основным исходным параметром при выборе типа пылеуловителя является дисперсный состав улавливаемой пыли. Большинство промышленных пылей подчиняется нормально-логарифмическому закону распределения частиц по размерам.

## 1. Сухие пылеуловители

К «сухим» механическим аппаратам относятся: осадительные камеры, циклоны, инерционные, жалюзийные, вихревые и динамические пылеуловители.

Они отличаются простотой изготовления и эксплуатации. Однако эффективность улавливания пыли в них не всегда достаточна, поэтому их используют в основном для предварительной очистки газов.

**1.1. Осадительные камеры.** Эти пылеуловители представляют собой пустотелые или с горизонтальными полками камеры. В них используется гравитационное осаждение частиц размером  $>50$  мкм при прохождении газа через объем аппарата со скоростью  $0,2—0,8$  м/с. При этом эффективность очистки составляет 80-90%.

### 1.2. Циклоны.

Циклоны являются наиболее распространенными аппаратами для очистки газов от пыли. Подводка газов может быть спиральной, тангенциальной, тангенциально-винтообразной. Циклоны бывают нескольких типов.

1. **Одиночные** циклоны: *цилиндрические* (высокопроизводительные) и *конические* (высокоэффективные).

Очищаемый газ из входного патрубка через винтообразный вход поступает в корпус циклона. Во вращающемся потоке под действием центробежных сил пылевые частицы сепарируются к периферии, а затем под действием силы тяжести собираются в пылевой бункер, выход из которого закрыт пылевым затвором. Более чистый газ из центральной части корпуса через выхлопную трубу поступает в камеру доочищенного газа, а из нее в патрубок выхода очищенного газа. Пылевой затвор обычно выполняют в виде мигалки с конусным клапаном. Когда масса накопившейся в пылевом бункере пыли превысит силу прижатия конусного клапана, создаваемого контргрузом, клапан откроется, сбросит пыль в приемную емкость и под действием груза вновь закроется.

2. **Групповые** циклоны – несколько циклонов сгруппированы в один блок с единым пылевым бункером и выходной камерой.

**3. Батарейные** циклоны представляют собой пылеулавливающие аппараты, составленные из большого числа параллельно установленных циклонных элементов, объединенных в одном корпусе и имеющих общие подвод и отвод газов. Для закручивания газов в циклонах применяются направляющие элементы типа «винт» с двумя винтовыми полостями, наклоненными под углом  $25^\circ$ , или типа «розетка» — с восемью лопатками, наклоненными под углом 25 или  $30^\circ$ . Обычно батарейные циклоны состоят из элементов диаметром 100, 150 и 250 м. Оптимальная скорость газов находится в диапазоне от 3,5 до 4,75 м/с. Применяются для очистки больших объемов газа с высокой эффективностью.

Циклоны можно применять при концентрациях пыли до  $400 \text{ г/м}^3$ , при температурах газов до  $500^\circ\text{C}$ . Недостатки: проблемы при улавливании слипающихся и пожаровзрываопасных пылей.

### **1.3. Жалюзийные пылеуловители.**

Эти аппараты просты по конструкции и имеют небольшое гидравлическое сопротивление. Они состоят из жалюзийной решетки и пылеуловителя (циклона). Назначение жалюзийной решетки — разделить газовый поток на две части: одну — менее запыленную, составляющую 80—90 % от всего газового потока, и другую — отсасываемую в циклон, составляющую 10 — 20 % всего потока и содержащую основную массу пыли, которая улавливается в циклоне. Далее очищенный в циклоне газ смешивается с основным потоком.

Скорость газа в жалюзийном пылеуловителе составляет  $12 \div 15 \text{ м/с}$ ; гидравлическое сопротивление решетки —  $100 \div 500 \text{ Па}$ . Применяется для улавливания частиц крупнее 20 мкм. Эффективность улавливания частиц в пылеуловителе зависит от эффективности решетки и циклона.

### **1.4. Фильтры.**

В технике пылеулавливания широко применяют фильтры, которые обеспечивают высокую эффективность улавливания крупных и мелких частиц. Процесс очистки заключается в пропускании очищаемого газа через

пористую перегородку или слой пористого материала. Перегородка работает как сито, не пропуская частицы с размером, большим диаметра пор. Частицы же меньшего размера проникают внутрь перегородки и задерживаются там за счет инерционных, электрических и диффузионных механизмов улавливания, некоторые просто заклиниваются в искривленных и разветвлённых поровых каналах.

*Классификация фильтров по типу фильтровального материала:* тканевые, волокнистые и зернистые.

У *тканевых* фильтров фильтровальная перегородка может быть хлопчатобумажная, шерстяная, лавсановая, нейлоновая, стеклянная, металлическая и т. д. с регулярной структурой переплетения нитей (саржевой, полотняной и т. д.). Основным механизмом фильтрования у таких фильтров - это ситовый, при котором фильтрует не только и даже не столько фильтровальная ткань, сколько пылевой слой, образующийся на ее поверхности. Такие фильтры можно регенерировать путем сброса слоя пыли с поверхности ткани. Наибольшее распространение в технике очистки промышленных выбросов нашли *тканевые рукавные фильтры*. Газ очищается при прохождении через ткань каждого рукава. В процессе фильтрования на ткани накапливается слой пыли, который уплотняется. Фильтровальные рукава регенерируются посредством их встряхивания и обратной продувки. Рукава регенерируются периодически, причем одни группы рукавов работают в режиме фильтрования, а другие — регенерации.

*Волокнистые фильтры* — это слой тонких и ультратонких волокон с нерегулярной, хаотичной структурой (например, войлок). Частицы пыли проходят внутрь слоя и задерживаются там, т. е. механизм фильтрования объемный. Такие фильтры плохо регенерируются.

*Зернистые фильтры* представляют собой свободные засыпки зерен (гранул), например, кварцевого песка, различной крупности или перегородки связанных (спеченных) между собой зерен, через которые пропускают очищаемый воздух. Зернистые фильтры в технике очистки отходящих газов приме-

няют реже, чем тканевые и волокнистые.

*Классификация пористых фильтров по назначению:* фильтры тонкой очистки, воздушные фильтры и промышленные фильтры.

*Фильтры тонкой очистки* предназначены для улавливания в основном субмикронных частиц из газов с низкой начальной концентрацией ( $< 1 \text{ мг/м}^3$ ) при скорости фильтрования  $0,01 \text{ м}$ . Их применяют для улавливания особо токсичных частиц с высокой эффективностью. Для очистки газов на  $99 \%$  от частиц размером  $0,05 \div 0,5 \text{ мкм}$  используют материалы в виде тонких листов или объемных слоев из тонких или ультратонких волокон (диаметром менее  $2 \text{ мкм}$ ). Наиболее распространены фильтрующие материалы типа ФП (фильтры Петрянова) из полимерных смол, которые наносятся на марлевую подложку. В качестве полимеров используют перхлорвинил (ФПП) и диацетилцеллюлозу (ФПА). Толщина слоев ФП ( $0,2\text{—}1 \text{ мм}$ ) обеспечивает поверхность фильтрации до  $100\text{—}150 \text{ м}$  на  $1 \text{ м}^3$  аппарата. Пылеемкость материалов ФП составляет  $50\text{—}100 \text{ г/м}$ . На практике используются рамные фильтры, фильтры Д-КЛ (с сепараторами клиновидной формы) и комбинированные фильтры. Гидравлическое сопротивление чистых фильтров  $200 \div 300 \text{ Па}$ , а забитых пылью —  $700 \div 1500 \text{ Па}$ . Фильтры тонкой очистки рассчитаны на срок работы  $0,5 \div 3$  года. Они не регенерируются, а заменяются на новый.

*Воздушные фильтры* используются в системах приточной вентиляции и кондиционирования воздуха.

В зависимости от эффективности воздушные фильтры подразделяются на три класса:

- 1 класс – эффективно улавливают все частицы ( $99\%$ );
- 2 класс - эффективно улавливают частицы с размером  $> 1 \text{ мкм}$  ( $85\%$ );
- 3 класс - эффективно улавливают частицы с размером  $10\text{--}50 \text{ мкм}$  ( $60\%$ );

В каждом классе фильтров имеются различные конструкции.

*Промышленные фильтры.* К ним относятся тканевые, зернистые и грубоволокнистые фильтры, используемые для очистки промышленных газов с концентрацией пылей до  $60 \text{ г/м}^3$ . Наиболее распространены тканевые фильтры,

которые содержат гибкую фильтрующую перегородку, имеющую форму цилиндрических рукавов (рукавные фильтры). Эффективность таких фильтров — более 99,5 %, а потери напора составляют  $1 \div 1,5$  кПа при скорости фильтрования  $0,5 \div 2$  см/с.

*Классификация фильтров по конструктивным признакам:* рукавные, рамочные, ячейковые.

**1.5. Электрофильтры** применяют для очистки больших объемов газа с высокой эффективностью. Наибольшее применение они нашли в металлургии и теплоэнергетике, использующей угольное топливо. Основным элементом электрофильтра являются пары электродов, один из которых коронирующий, а другой осадительный. На электроды подается постоянное высокое напряжение (от 14 до 100 кВ).

При высоких напряжениях у коронирующего электрода возникает коронный разряд и начинается ионизация воздуха — образуются отрицательные и положительные ионы. Через пространство между электродами пропускают очищаемый газ, ионы адсорбируются на поверхности частиц пыли, заряжая их. Отрицательно заряженные частицы пыли начинают перемещаться к положительному осадительному электроду и прилипают к нему, удерживаясь электрической силой. Электроды выполняют различной формы.

Затраты электроэнергии в электрофильтрах на единицу очищаемого газа невелики, они конкурируют и даже превосходят по этому критерию другие типы пылеуловителей. Однако сложное электрическое хозяйство, опасность очень высоких напряжений, требует специально подготовленного обслуживающего персонала. Поэтому их применяют на крупных промышленных объектах и при необходимости очистки больших объемов отходящего и сильно запыленного газа.

*Классификация электрофильтров:*

- по конструкции: однозонные и двухзонные;
- по направлению газового потока: горизонтальные и вертикальные;



- по конструкции осадительных электродов: «сухие» (дымовые газы, сажа) и «мокрые» (смола, пыль);
- в зависимости от количества последовательно расположенных электрических полей: однопольные и многопольные;
- в зависимости от числа параллельных электрофильтров: одно- и многосекционные.

### *28.1.2 Пылеуловители мокрого типа*

Их целесообразно применять для очистки высокотемпературных газов, улавливания пожаровзрывоопасных пылей и в тех случаях, когда наряду с улавливанием пыли требуется улавливать токсичные газовые примеси и пары. Аппараты мокрого типа называют скрубберами.

#### **1 Пенный пылеуловитель.**

Сечение аппарата перекрыто несколькими рядами решеток. Каждый ряд состоит из пенообразующей и стабилизирующей пену решеток. Сверху на решетки через оросительное устройство подается вода или какой-либо водный раствор. Для улучшения образования пены в воду могут добавлять пенообразователи (например, ПАВы — поверхностно-активные вещества). Частицы пыли коагулируют в пене, заливаются через отверстия решеток и в виде шлама собираются в нижней части аппарата, откуда отводятся в шламосборник. Недостатком аппаратов мокрого типа является наличие систем водоснабжения и рециркуляции воды.

#### **2 Форсуночные скрубберы.**

Они представляют собой колонны круглого или прямоугольного сечения, в которых осуществляется контакт между газом и каплями воды, распыляемой форсунками. Форсунки устанавливаются в колонне в одном или нескольких сечениях (до 14—16 в сечении). Наиболее распространены противоточные скрубберы. Скорость газа в них изменяется от 0,6 до 1,2 м/с. Высокая эффективность скруббера обеспечивается при размере частиц в газе  $> 10$  мкм.

#### **3 Барботажно-пенные пылеуловители.**

В тарельчатых колоннах пыль улавливается газожидкостным (пенным) слоем,

образующимся на контактных тарелках при взаимодействии газа и жидкости. Наиболее распространены пенные аппараты с ситчатыми тарелками или с провальными тарелками — дырчатыми, решетчатыми, трубчатыми и колосниковыми. При этих условиях на тарелке образуется пенный слой высотой 80—100 мм.

Применяют также аппараты со стабилизатором пенного слоя, представляющего собой сотовую решетку из вертикально расположенных пластин, разделяющих сечение аппарата и пенный слой на небольшие ячейки. Благодаря стабилизатору происходит значительное накопление жидкости на тарелке и увеличение высоты пены. Применение стабилизатора позволяет значительно сократить расход воды на орошение аппарата.

### *28.1.3 Способы очистки газовых выбросов от токсичных веществ*

Для удаления из отходящих газов вредных примесей применяют следующие методы: абсорбции, хемосорбции, адсорбции, термического дожигания, каталитической нейтрализации.

**Абсорбция** — это явление растворения вредной газовой примеси сорбентом, как правило, водой. Методом абсорбции можно улавливать только хорошо растворимые газовые примеси и пары. Так, хорошей растворимостью в воде обладают аммиак, хлороводород, фтороводород, пары кислот и щелочей. Для проведения процесса абсорбции используют аппараты мокрого типа, применяемые в технике пылеулавливания.

**Хемосорбцию** применяют для улавливания газовых примесей растворимых или плохо растворимых в воде. Метод хемосорбции заключается в том, что очищаемый газ орошают растворами реагентов, вступающих в химическую реакцию с вредными примесями с образованием нетоксичных, малолетучих или нерастворимых химических соединений. Этот метод широко используется для улавливания, диоксида серы. Отходящие газы орошают суспензией известняка ( $\text{CaCO}_3$ ) известковым молоком (мелкодисперсной суспензией гашеной  $\text{Ca(OH)}_2$  или негашеной  $\text{CaO}$  извести), суспензией магнезита  $\text{MgO}$ .

**Адсорбция** заключается в улавливании поверхностью микропористого ад-

сорбента (активированный уголь, силикагель, цеолиты) молекул вредных веществ. Метод обладает очень высокой эффективностью, но жесткими требованиями к запыленности газа — не более 2...5 мг/м<sup>3</sup>. Одним из лучших адсорбентов является активированный уголь, у которого в 1 г содержится до 1600 м<sup>2</sup> поверхностей. Адсорбция широко применяется для улавливания паров растворителей, неприятно пахнущих веществ, органических соединений и множества других газов. Адсорбционная способность адсорбента тем выше, чем меньше его температура и существенно снижается с ее повышением. Это используется в работе адсорберов и при их регенерации. Примером конструкции адсорбера является противогаз. Регенерация адсорбента осуществляется путем продувки горячим водяным паром с последующей сушкой горячим воздухом, т. е. работа аппарата проходит в три стадии, для осуществления которых необходимы три параллельных линии аппаратов. Каждый аппарат работает на определенной стадии — один в режиме адсорбции, другой — продувки водяным паром, третий — сушки воздухом. Затем происходит переключение их на другой режим. Перед адсорберами установлен холодильник для охлаждения газов, после них также устанавливается холодильник-конденсатор для конденсации удаляемых при регенерации паров воды и примесей, сепаратор для разделения воды и растворителей за счет разной плотности. Растворители могут вновь направляться в производство.

Различают физическую (адсорбент связывается с примесями слабыми силами межмолекулярного взаимодействия, обратимо) и химическую адсорбцию (адсорбент связывается с примесями прочными химическими связями, необратимо, регенерация невозможна).

Адсорбция широко применяется для улавливания паров растворителей, неприятно пахнущих веществ, органических соединений и множества других газов.

**Термическое дожигание** — это процесс окисления вредных веществ кислородом воздуха при высоких температурах (900...1200°C). С помощью термического дожигания окисляют токсичный угарный газ СО до нетоксич-

ного углекислого газа  $\text{CO}_2$  ( $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ ), углеводороды  $\text{C}_n\text{H}_m$  до углекислого газа и воды ( $\text{C}_n\text{H}_m + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ). Процесс термического окисления при низкой температуре отходящих газов энергоемок, так как требует использования дополнительного топлива для нагрева газов до высоких температур. Термическое дожигание применяют для очистки отходящих газов от органических веществ, например, паров растворителей и красок в лакокрасочных производствах, очистки выбросов испытательных станций двигателей, работающих на органических горючих.

**Каталитическая нейтрализация** достигается применением катализаторов — материалов, которые ускоряют протекание реакций или делают их возможными при значительно более низких температурах (250 - 400°C). В качестве катализаторов используют, прежде всего, благородные металлы — платину, палладий в виде тонкослойных напылений на металлические или керамические носители, кроме того применяются монельметалл, диоксид титана, пентаоксид ванадия и т.д. Очищаемый газ пропускается через слой катализатора. На его поверхности протекают экзотермические (идущие с выделением теплоты) окислительные реакции. При этом температура газов может повышаться с 250...400 до 500°C. Для использования этой энергии и снижения тем самым расхода топлива, подаваемого в горелку для предварительного подогрева очищаемых газов, реактор снабжен трубчатым теплообменником. В нем газы, подаваемые на очистку, подогреваются за счет теплоты горячих очищенных газов, выходящих из каталитического слоя. Термокаталитические реакторы широко применяют для очистки отходящих газов окрасочных цехов, сушильных камер и т. д. Каталитические нейтрализаторы используют для очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания от оксидов азота, углерода, углеводородов.

При сильном и многокомпонентном загрязнении отходящих газов применяют сложные многоступенчатые системы очистки, состоящие из последовательно установленных аппаратов различного типа.

В загрязненном воздухе в качестве индивидуальных средств защиты приме-

нут респираторы и противогазы.

## **28.2 Очистка сточных вод**

Задача очистки вредных сбросов не менее, а даже более сложна и масштабна, чем очистки промышленных выбросов. В отличие от рассеивания выбросов в атмосфере разбавление и снижение концентраций вредных веществ в водоемах происходит хуже, водная среда более ранима и чувствительна к загрязнениям.

Защита гидросферы от вредных сбросов осуществляется применением следующих методов и средств: рациональным размещением источников сбросов и организацией водозабора и водоотвода; разбавлением вредных веществ в водоемах до допустимых концентраций с применением специально организованных и рассредоточенных выпусков; использованием средств очистки стоков.

С целью стимулирования предприятий к качественной очистке собственных стоков целесообразно организовывать водозабор на технологические нужды ниже по течению реки, чем сброс сточных вод. Если при этом для технологических нужд требуется чистая вода, предприятие будет вынуждено осуществлять высокоэффективную очистку собственных стоков.

Рассредоточенный выпуск стоков осуществляют через трубы, проложенные поперек русла реки, этим увеличивается интенсивность перемешивания и кратность разбавления стоков.

Методы очистки сточных вод можно подразделить на механические, физико-химические и биологические.

**1. Механическая очистка** сточных вод от взвешенных частиц (твердых частиц, частиц жира-, масло- и нефтепродуктов) осуществляется процеживанием, отстаиванием, обработкой в поле центробежных сил, фильтрованием, флотацией.

**1.1 Процеживание** применяют для удаления из сточной воды крупных и волокнистых включений. Процесс реализуют на вертикальных и наклонных решетках с шириной прозоров 15...20 мм и на волокнуловителях в виде лен-

точных и барабанных сит. Очистка решеток и волокнуловителей от осадков частиц осуществляется вручную или механически.

**1.2. Отстаивание** основано на свободном оседании (всплытии) примесей с плотностью, большей (меньшей) плотности воды. Процесс отстаивания реализуют в песколовках, отстойниках, жируловителях.

*Песколовки* применяют для отделения частиц металла и песка размером более 250 мкм. Песколовки бывают с горизонтальным, вертикальным и круговым движением воды.

*Отстойники жируловители* применяют для гравитационного выделения из сточных вод более мелких взвешенных частиц или жировых веществ. По направлению движения основного потока воды различают отстойники вертикальные, горизонтальные, диагональные и радиальные.

**1.3. Очистка сточных вод в поле центробежных сил** реализуется в гидроциклонах. Механизм действия гидроциклонов аналогичен механизму действия газоочистных циклонов. Под действием центробежной силы, возникающей во вращающемся потоке, происходит более интенсивное отделение взвешенных частиц от потока воды. Гидроциклоны бывают низконапорные (открытые) и высоконапорные (закрытые).

**1.4. Фильтрование** используют для очистки сточных вод от мелкодисперсных примесей, как на начальной, так и конечной стадиях очистки. Часто используют зернистые фильтры из несвязанных или связанных (спеченных) между собой частиц. В зернистых фильтрах в качестве фильтроматериала применяют кварцевый песок, дробленый шлак, гравий, антрацит и т. п. Регенерация фильтра осуществляется обратной промывкой и продувкой сжатым воздухом.

**1.5. Флотация** заключается в обволакивании частиц примесей мелкими пузырьками воздуха, подаваемого в сточную воду, и поднятии их на поверхность, где образуется слой пены. В зависимости от способа образования пузырьков различают флотацию пневматическую (напорную, вакуумную), пенную, химическую, вибрационную, биологическую, электрофлотацию. На

практике наибольшее распространение получила пневматическая, которая основывается на уменьшении растворимости газа в воде при снижении его давления. При резком снижении давления происходит выделение из воды излишнего воздуха в виде пузырьков. Если вода с атмосферным давлением направляется в камеру под вакуумом, такая флотация называется вакуумной; если из-под напора в открытую камеру — напорной. Флотация осуществляется во флотационных камерах.

**2. Физико-химические методы очистки** применяют для удаления из сточной воды растворимых примесей (солей тяжелых металлов, цианидов, фторидов и др.), а в ряде случаев и для удаления взвесей. Как правило, физико-химическим методам предшествует стадия очистки от взвешенных веществ. Из физико-химических методов наиболее распространены электрофлотационные, коагуляционные, реагентные, ионообменные и др.

**2.1. Электрофлотация** находит широкое применение наряду с пневматической флотацией для удаления маслопродуктов и мелкодисперсных взвесей. Она осуществляется путем пропускания через сточную воду электрического тока, возникающего между парами электродов (железные, стальные, алюминиевые). В результате электролиза воды образуются пузырьки газа, прежде всего легкого водорода, а также кислорода, которые обволакивают частички взвесей и способствуют их быстрому всплытию на поверхность. Электрофлотация осуществляется в электрофлотационных установках.

**2.2. Коагуляция** — это физико-химический процесс укрупнения мельчайших коллоидных и диспергированных частиц под действием сил молекулярного притяжения. В результате коагулирования устраняется мутность воды. В качестве веществ-коагулянтов применяют алюминийсодержащие вещества, хлорид железа (II), сульфат железа и др. Коагуляция осуществляется посредством перемешивания воды с коагулянтами в камерах, откуда вода направляется в отстойники, где хлопья отделяются отстаиванием. Необходимые для коагулирования ионы алюминия или железа иногда получают электрохимическим путем. Для этого используются емкости-

электролизеры (электрокоагуляторы), в которых размещены электроды из алюминия или стали. Образующиеся в процессе анодного растворения металла ионы алюминия или железа осуществляют процесс коагуляции. Так как электрофлотаторы и электрокоагуляторы практически одинаковы по конструкции, процессы электрофлотации и электрокоагуляции могут протекать в них одновременно.

**2.3. Реагентный метод** заключается в обработке сточных вод химическими веществами-реагентами, которые, вступая в химическую реакцию с растворенными токсичными примесями, образуют нетоксичные или нерастворимые соединения. Последние затем могут быть удалены одним из описанных выше методов удаления взвесей и осветления воды. Этот метод находит применение для очистки сточных вод от солей металлов, цианидов, хрома, фторидов и т.д. Например, для удаления цианидов используют различные реагенты-окислители, содержащие активный хлор: хлорная известь, гипохлориты кальция или натрия, хлорная вода. Для очистки от хрома (VI) применяют натриевые соли сернистой кислоты ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{NaHSO}_3$ ), гидросульфит  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ . Для очистки фторсодержащих вод применяют гидроксид кальция (известковое молоко), хлорид кальция. В результате химической реакции с токсичными соединениями фтора образуется плохо растворимый фторид кальция  $\text{CaF}_2$ , который можно удалить из воды, например, отстаиванием.

Разновидностью реагентного метода является процесс нейтрализации сточных вод. Согласно действующим нормативным документам, сбросы сточных вод в системы канализации населенных пунктов и в водные объекты допустимы только в случаях, если имеют  $\text{pH} = 6,5 \dots 8,5$ . В том случае, если  $\text{pH}$  сточных вод соответствует кислой ( $\text{pH} < 6,5$ ) или щелочной ( $\text{pH} > 8,5$ ) среде, сточные воды подлежат нейтрализации, под которой понимают снижение концентрации в них свободных  $\text{H}^+$  или  $\text{OH}^-$ -ионов до установленных в указанном интервале значений  $\text{pH}$ . Нейтрализация кислых сточных вод осуществляется добавлением растворимых в воде щелочных реагентов (оксида кальция, гидроксидов натрия, кальция, магния и др.). Нейтрализация щелочных сто-



ков — добавлением минеральных кислот — серной, соляной и др. В процессе нейтрализации важно добавить ровно столько реагента, чтобы осуществить нейтрализацию, не изменив при этом показатель pH в противоположную сторону. Реагентная очистка осуществляется в емкостях, снабженных устройствами для перемешивания. Наиболее эффективно применение в качестве реагента производственных отходов. Например, карбонат содержащие отходы, образующиеся при водоподготовке на теплоэлектростанциях, можно применять для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов и нейтрализации кислых растворов.

**2.4. Ионообменная очистка** сточных вод заключается в пропускании сточных вод через ионообменные смолы, которые подразделяются на катионитовые — имеющие подвижные и способные к обмену катионы (чаще всего водорода  $H^+$ ), и анионитовые — имеющие подвижные и способные к обмену анионы (чаще всего гидроксильную группу  $OH^-$ ). При прохождении сточной воды через смолы подвижные ионы смолы заменяются на ионы соответствующего знака токсичных примесей, например, катион тяжелого металла заменяет катион водорода, а токсичный анион соли металла — анион  $OH^-$ , происходит сорбирование токсичных ионов смолой. Регенерация (восстановление сорбирующей способности при насыщении смолы токсичными ионами) осуществляется промывкой кислотой (катионитовая смола) или щелочью (анионитовая смола). При этом токсичные ионы замещаются соответствующими катионами или анионами ( $H^+$ ,  $OH^-$ ), а токсичные примеси выделяются в концентрированном виде как щелочные или кислые стоки, которые взаимно нейтрализуются и подвергаются реагентной очистке или утилизации.

### **3 Биологическая очистка**

**Биологическая очистка** сточных вод основана на способности микроорганизмов использовать растворенные и коллоидные органические соединения в качестве источника питания в процессах своей жизнедеятельности. При этом органические соединения окисляются до воды и углекислого газа.

Биологическую очистку ведут или в естественных условиях (поля ороше-

ния, поля фильтрации, биологические пруды), или специальных сооружениях: аэротенках, метантенках или биофильтрах.

### **3.1. Биологические пруды.**

3.1.1. В *окислительных прудах* осуществляют анаэробное разложение осадка в придонной зоне и окисление растворенных и коллоидных органических веществ при аэробном метаболизме бактерий в средней части объема воды. Продукты этих процессов утилизируются водорослями, растущими у поверхности, которые вырабатывают кислород, обеспечивающий аэробную деструкцию органических веществ. Очистка носит сезонный характер: зима – накопитель, лето – очиститель.

3.1.2. *Аэрируемые пруды* используются более широко, чем окислительные. Они оснащены плавающими или стационарными механическими или пневматическими аэраторами. Эффективность – 80-95%. Водоросли из стока пруда выделяют фильтрацией.

3.1.3. *Анаэробные пруды* (лагуны) предназначены для разрушения и стабилизации концентрированных жидких, полужидких и твердых отходов. Они работают в два этапа:

1. превращение сложных веществ в летучие жирные кислоты;
2. преобразование в газообразные продукты (метан, углекислый газ).

**3.2. Поля орошения** – это специально спланированные и подготовленные земельные участки для полива их сточными водами и последующего выращивания с/х культур.

**3.3. Поля фильтрации** - земельные участки, предназначенные только для очистки сточных вод.

**3.4. Аэротенки** представляют собой открытые резервуары с системой коридоров, через которые медленно протекают сточные воды, смешанные с активным илом (скопления-хлопья микроорганизмов, бактерий, простейших и некоторых высших организмов) и непрерывно аэрируемые воздухом через систему аэрации аэротенка. Активный ил затем отделяется от воды в отстойниках и вновь направляется в аэротенк. Применяются для очистки город-

ских сточных вод.

**3.5. Биологический фильтр** — это сооружение, заполненное загрузочным материалом, через который фильтруется сточная вода и на поверхности которого развивается биологическая пленка, состоящая из популяции гетеротрофных бактерий. Органические загрязнения сорбируются биопленкой и окисляются ею в аэробных условиях. Применяются для очистки высококонцентрированных промышленных сточных вод с однородным составом загрязнений (пищевая промышленность, производство бумаги, хим. пр-ва).

**4. Локальная очистка сточных вод.** Крупные промышленные предприятия имеют различные производства (механообрабатывающее, гальваническое, литейное, окрасочное, кузнечное и т. д.), которые дают различный состав загрязнения сточных вод. Водоочистные сооружения таких предприятий выполнены следующим образом: отдельные производства имеют свои локальные очистные сооружения, аппаратное обеспечение которых учитывает специфику загрязнения и полностью или частично удаляет их, затем все локальные стоки направляются в емкости-усреднители, а из них на централизованную систему очистки до значений, установленных для предприятия предельно-допустимых сбросов. Возможны и иные варианты системы водоочистки в зависимости от конкретных условий. Часто извлекаемые вещества снова пускаются в техпроцесс.

**5. Деструкционный метод очистки.** Заключается в сжигании сточных вод при высоких температурах. При необходимости их смешивают с природным газом. Используют для концентрированных сточных вод с высоким содержанием органических веществ. Ограничения: сточная вода не должна содержать вещества, которые, сгорая, дают токсичные газы. Существует два типа:

**5.1. Парофазное окисление** происходит при температуре  $\sim 800^{\circ}\text{C}$ .

**5.2. Каталитическое окисление** происходит при участии катализатора — Pt на Ni-сетке, имеет высокое КПД и экологически безопасно.

**5.3. Электрохимическое окисление** происходит на катоде и аноде при пропускании через сточную воду электрического тока.

### 28.3 Утилизация и захоронение твердых и жидких отходов

По агрегатному состоянию отходы разделяются на твердые и жидкие. По источнику образования - на промышленные, образующиеся в процессе производства (металлический лом, стружка, пластмассы, пыль, зола и т. д.), биологические, образующиеся в сельском хозяйстве (птичий помет, отходы животноводства, отходы растениеводства и другие органические отходы), бытовые (в частности осадки коммунально-бытовых стоков), радиоактивные. Кроме того, отходы разделяются на горючие и негорючие, прессуемые и непрессуемые. По токсичности отходы подразделяются на 5 классов токсичности:

- 1 — чрезвычайно опасные (бенз(а)пирен, сулема, цианид калия, хром (VI) и др.),
- 2 — высоко опасные (хлорид меди (II), нитрат свинца и др.),
- 3 — умеренно опасные (сульфат никеля и др.),
- 4 — малоопасные (хлорид кальция, диоксид марганца и др.),
- 5 — нетоксичные.

Определение класса опасности отходов проводится по величине ПДК веществ в почве с учетом их растворимости ( $S$ ) в воде и содержания веществ ( $Cв$ ) в общей массе отходов. Индекс опасности вещества ( $K$ ) находят по формуле  $K = \text{ПДК} / (S + Cв)$ .

Если  $K < 2$ , отходы чрезвычайно опасные,  $K = 2 \dots 16$  — высоко опасные,  $K = 16 \dots 30$  — умеренно опасные,  $K > 30$  — малоопасные.

Отходы, которые в дальнейшем могут быть использованы в производстве, относятся к вторичным материальным ресурсам. Например, макулатура для производства бумаги; стеклянный бой — стекла; металлический лом — металла; зола, пыль, шлаки — строительных материалов и конструкций; отходы птицеводства и животноводства - органических удобрений; отработанные масла и нефтепродукты - производства масел и т. д. Для полного использования отходов в качестве вторичного сырья разработана их промышленная классификация, которая подразделяет, например, лом и отходы металлов по физическим признакам на классы, по химическому составу

— на группы и марки, по показателям качества — на сорта.

### ***Важнейшие этапы обращения с отходами.***

1. ***Сбор отходов.*** При сборе отходы должны разделяться по признакам, указанным выше, в зависимости от дальнейшего использования, способа переработки, утилизации, захоронения. Это позволяет существенно упростить и удешевить их дальнейшую переработку.
2. ***Переработка отходов*** позволяет обеспечить безопасность жизнедеятельности, способствует защите окружающей среды от загрязнения и сохраняет природные ресурсы.
3. ***Захоронению*** на полигонах подвергаются отходы, не подлежащие переработке и дальнейшему использованию в качестве вторичных ресурсов (переработка которых сложна и экономически не выгодна или которые имеются в избытке). Перед захоронением на полигоне отходы с высокой степенью влажности обезвоживаются. Прессуемые отходы целесообразно спрессовывать, а горючие — сжечь с целью снижения их объема и массы. При прессовании объем отходов уменьшается в  $2\div 10$  раз, а при сжигании — до 50 раз. Отходы складываются на полигонах.

Полигоны бывают различного уровня и класса: полигоны предприятий, городские, регионального значения. В местах складирования выполняется гидроизоляция для исключения загрязнения грунтовых вод. Полигоны должны располагаться вдали от водоохраных зон и иметь санитарно-защитные зоны.

### ***Малоотходные и ресурсосберегающие технологии.***

Радикальное решение проблем защиты от промышленных отходов возможно при широком внедрении малоотходных технологий. Под ***малоотходной технологией*** понимается такая технология, при которой рационально используются все компоненты сырья и энергии в замкнутом цикле, т. е. минимизируются использование первичных природных ресурсов и образующиеся отходы. Малоотходные технологии должны предусматривать:

1. снижение материалоемкости изделий;

2. использование замкнутых циклов водоснабжения предприятий, при которых очищенные сточные воды вновь направляются в производство;
3. образующиеся отходы или уловленные газоочисткой вещества должны вновь использоваться при получении других изделий и товаров.

## Литература

1. Общая экология. Для технических ВУЗов. Пустовая Л.Е., Аствацатуров А.Е., Озерянская В.В., Лоскутникова И.Н. для студентов специальности 330200 «Инженерная защита окружающей среды» / Ростов-на-Дону, 2004.
2. Общая экология. /С. Розанов. – Санкт-Петербург, 2001, 288с.
3. Экология. / Коробкин В.И., Передельский Л.В. - Ростов н/Д: Изд-во "Феникс", 2000.
4. Экология / Шилов И.А. - М.: «Высшая школа», 2000г., 512 с.
5. Экология: Учеб. Пособие./ Чистик О.В. - Мн.: «Новое знание», 2000.- 248с.
6. Общая экология. / Н.А. Воронков. – Москва, 1999, 420с.
7. Экология. / Страдницкий Г.В., Родионов А.И. Санкт-Петербург. Химия. 1996. 240 с.
8. Наука об окружающей среде. / Небел Е. Т. 1,2. М.: Мир. 1993
9. Проблемы глобальной экологической безопасности современной цивилизации. /Аствацатуров А.Е. Ростов-на-Дону, 2001 г. – 110 с.
10. Безопасность жизнедеятельности. / С.В. Белов, В.А. Девисилов и др. – М.; Высш. Шк., НМЦ СПО, 2000.- 343с.
11. Биология: учебное пособие для поступающих в вузы. / И.Ю. Павлов, Д.В. Вахненко, Д.В. Москвичев. – Ростов-на-Дону. Изд-во «Феникс». 1996. 576с.