

М.Г.Ясовеев, Э.В.Какарека, Н.С.Шевцова, О.В.Шершнев

# ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Белорусский государственный педагогический  
университет имени Максима Танка»

М.Г.Ясовеев, Э.В.Какарека, Н.С.Шевцова, О.В.Шершнев

## ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Рекомендовано Министерством образования Республики Беларусь для студентов высших учебных заведений специальности 02 04 05 04 «География. Охрана природы», а также географических, экологических, геолого-географических, биоэкологических специальностей вузов, а также для магистрантов, аспирантов и преподавателей, специалистов в области географии, геоэкологии, природопользования, работников управления различного уровня и специалистов в области экологии, экологического мониторинга и проектирования.

УДК  
ББК  
Я

Печатается по решению редакционно-издательского совета БГПУ

Рецензенты:

доктор географических наук, профессор, профессор кафедры физической географии БГПУ В.Н.Киселев

доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой общего землеведения БГУ П.С.Лопух

Ясовеев М.Г.

Я.. Промышленная экология: пособие / М.Г.Ясовеев, Э.В.Какарека, Н.С.Шевцова, О.В.Шершнеv. – Минск – БГПУ, 2010 – 220 с.

ISBN

В пособии рассматриваются экологические проблемы, связанные с функционированием отраслей промышленности, которые наносят основной ущерб состоянию и качеству природных комплексов. В работе анализируются мероприятия по минимизации экологических последствий техногенного воздействия особо опасных и вредных производств и технологий. Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 1 02 04 05 04 «География. Охрана природы». Рекомендуется магистрантам и аспирантам, изучающим геоэкологию и науки о Земле, а также работникам и специалистам в области природопользования и охраны природы.

УДК

ББК

с М.Г.Ясовеев (и др.), 2010

с БГПУ, 2010

## Введение

Дисциплина «Промышленная экология» предусмотрена образовательным стандартом и типовым учебным планом подготовки специалистов по специальности 01- 02 04 05-04 География. Охрана природы и относится к циклу общепрофессиональных и специальных дисциплин (дисциплин дополнительной специальности). Теоретические вопросы, которые изучаются в ходе преподавания дисциплины, позволяют студентам расширить имеющиеся у них знания по геоэкологии и экологии промышленного производства.

Понятие «Промышленная экология» тесно связано (по Н.Ф.Реймерсу) с инженерной экологией и подразумевает рассмотрение последствий воздействия промышленной (инженерной) деятельности на природную среду.

Предметом изучения науки являются эколого-технические системы, объединяющие в своем составе инженерные объекты, природные комплексы и геосистемы. В основу промышленной экологии заложена концепция безотходной технологии, предусматривающая цикличность материальных и энергетических потоков, которая наглядно и эффективно реализована в природе.

По безотходной технологией понимается такой способ производства продукции при котором опасное или вредное техногенное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормативами, при этом использование сырья и энергии в цикле: сырьевые ресурсы → производство → потребление → вторичные сырьевые ресурсы производится таким образом, что любое воздействие на окружающую среду не нарушает ее нормального функционирования.

В дисциплине охарактеризованы основные понятия, нормативно-правовая база, структура и особенности экологически опасных отраслей промышленности, методы инженерной защиты среды обитания человека.

Цель дисциплины – сформировать у студентов основы знаний по методам и способам инженерной защиты окружающей среды от экологически вредных последствий функционирования промышленности.

Задачи дисциплины:

- изучить экологические проблемы топливно-энергетического комплекса и пути их решения;
- изучить экологические проблемы транспорта и пути их решения;
- изучить особенности природопользования в горнодобывающей промышленности;
- изучить экологические проблемы отдельных отраслей промышленности (в том числе химической, машиностроительной, обрабатывающей и других);
- изучить технические способы защиты атмосферы, гидросферы, почв, природных ландшафтов, растительности и биологических объектов от техногенных загрязнений.

Дисциплина «Промышленная экология» тесно связана с другими дисциплинами учебного плана специальности 01-02 04 05-04 География. Охрана природы. Она базируется на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин как «Основы природопользования», «Экология урбанизированных территорий», «Методика геоэкологических исследований». В свою очередь, знания, полученные студентами, необходимы при изучении таких дисциплин учебного плана как «Основы геоэкологии» и «Стандарты качества окружающей среды».

После изучения дисциплины студент должен уметь: самостоятельно оценивать и предлагать способы и методы инженерной защиты природных комплексов и геосистем от экологически вредных последствий функционирования отраслей промышленности, должен владеть особенностями применения технологий очистки сточных вод, уметь оценивать и предлагать конкретные способы мелиорации загрязненных почв, восстановления деградированных ландшафтов, иметь представление о порядке обращения с основными видами отходов производства и потребления.

Учебное пособие подготовлено сотрудниками кафедры экономической географии и охраны природы Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка М.Г.Ясовеевым, Э.В.Какарека, Н.С.Шевцовой и преподавателем Гомельского университета О.В.Шершневым под редакцией профессора М.Г.Ясовеева.

## Глава 1. Предмет промышленной экологии, исторические корни науки

### 1.1. Предмет промышленной экологии

Наиболее массированный вред природной среде наносят промышленные предприятия, энергетика и автомобильный транспорт — неотъемлемые компоненты урбанизированных и техногенно нагруженных территорий. Это требует нового подхода к организации и функционированию промышленных производств и экономической системы в целом; особый вклад в формирование и реализацию такого подхода должна внести промышленная экология.

Согласно Н.Ф. Реймерсу (1990 г.), промышленная (инженерная) экология это: «...раздел «большой» экологии, рассматривающий воздействие промышленности (иногда всего хозяйства — промышленности, транспорта и сельского хозяйства) — от отдельных предприятий до техносферы — на природу и, наоборот, влияние условий природной среды на функционирование предприятий и их комплексов».

Понятие «промышленная экология» появилось в начале 80-х годов XX века, а уже в 1983 г. начал читаться специальный лекционный курс с тем же наименованием для студентов химиков-экологов Московского химико-технологического института.

**Отчужденность человека и природы.** Широкомасштабная техногенная деятельность не только нарушает развитие биосферных процессов, но и отчуждает человечество от природы. Оно уже не находится в органическом единении с биоценозами и биогеоценозами в целом. Как правило, человек стремится при этом подчинить природу своим интересам. Большая часть его деятельности выходит за рамки экосистемных законов и подчас развивается вопреки им. Практически человек в конфликте с природой создал особую среду своего обитания своей жизнедеятельности — техносферу.

**Техносфера** (Н.Ф. Реймерс, 1990г.) – часть биосферы, преобразованная людьми с помощью прямого и косвенного воздействия технических средств в целях наилучшего соответствия ее социально-экономическим потребностям человечества.

Техносфера представляет собой совокупность искусственных объектов, созданных целенаправленной деятельностью человека, и природных объектов, измененных этой деятельностью. Совокупность инженерно-технических процессов в земной коре, гидросфере, атмосфере и ближнем Космосе; научных и технических достижений, позволяющих человеку использовать природные ресурсы и изменять состояние среды жизни, а также перестройка биосферы и создание новой планетной оболочки (техносферы), где господствует человечество как геологическая сила. т. е. все, что связано с производственной деятельностью человека, называют **техногенезом**. Созданные в процессе техногенеза или возникшие как его побочный результат искусственные (техногенные) вещества, включая вышедшую из строя технику, оказывающие определенные воздействия на среду обитания организмов, называют **техногенной продукцией**.

Согласно В.А.Зайцеву (1999), промышленная экология рассматривает (изучает) взаимосвязь и взаимозависимость материального, в первую очередь промышленного производства, человека и других живых организмов со средой их обитания, т.е. предметом ее изучения являются эколого-экономические системы.

В основе промышленной экологии лежит концепция «безотходной технологии», предусматривающей цикличность материальных потоков, которая реализована в природе.

В экологизации мирового сознания большую роль сыграли доклады Римского клуба, развивающие положение о необходимости замедления роста и стабилизации численности населения планеты. Данный вывод отражает современные эколого-экономические реалии, так как при нынешнем уровне технологического развития, ограниченности запасов природных ресурсов, Земля не в состоянии прокормить и обеспечить нормальные потребности быстро растущего населения (см. детально в разделе 1.2.)

В последние годы появились и альтернативные эколого-экономические концепции. Неспособность добиться радикального изменения в отношениях между экономикой и окружающей средой привела к появлению концепции экотопии. Основные направления этой концепции: возврат как можно быстрее к природе, биологическое и культурное разнообразие, простые технологии, отказ от научно-технического прогресса, который только разрушает окружающую среду, и т. д. При этом должно быть уделено много внимания нравственному совершенствованию, социальным, религиозным и духовным аспектам совершенствования человека. Эти взгляды лежат в основе программ партий «зеленых» во многих странах.

Таким образом, главной задачей промышленной экологии является нахождение путей рационального использования природных ресурсов, предотвращения их истощения, деградации и загрязнения окружающей среды, а в конечном итоге - совмещение техногенного и биогеохимического круговоротов веществ. Поэтому развитие промышленной экологии немыслимо без тесного сотрудничества с другими науками, составляющими естествознание.

## **1.2. Исторические корни науки**

Понятие «экологический кризис» впервые появилось в 1972 г. на страницах первого доклада Римского клуба — авторитетной международной ассоциации по изучению глобальных проблем современности. В этом докладе, озаглавленном «Пределы роста», авторский коллектив под руководством американского кибернетика Д. Медоуза построил прогностическую модель мира, используя в качестве переменных факторов рост населения, капиталовложения, занятое человеком земное пространство (степень нарушенности экосистем), степень использования природных ресурсов и загрязнения биосферы. Выводы доклада сводились к следующему: при сохранении темпов роста и тенденции развития экономики человечество придет к катастрофе и погибнет в 2100 г. К этому времени большая часть населения вымрет от голода и истощения. Природных

ресурсов не хватит на производство необходимых материальных благ; из-за загрязнений окружающая среда станет непригодной для обитания в ней человека.

Противоречия во взаимодействии общества с природной средой неизбежны. Материя (вещество, энергия и информация) в процессе обмена между обществом и природой никуда не исчезает, а переходит из одной формы и состояния в другую. При этом прогресс общества неизбежно идет «за счет» природы, так как, удовлетворяя свои потребности, люди в процессе производства заимствуют у природной среды материальные блага, отчуждая их у нее. Но если общество существует за счет природы, его прогрессивное развитие не может быть бесконечным. Реальное общество всегда развивается на ограниченном по объему пространстве, каким и является наша планета. Поэтому общество неизбежно на определенном этапе (в силу несотворимости и неуничтожимости материи) должно столкнуться с экологической проблемой. Таким образом, указанная проблема обусловлена возрастанием противоречий в вещественных, энергетических и информационных связях общества с природной средой.

За истекшее столетие в человеческом обществе произошли два важнейших сдвига. Во-первых, не только резко увеличилась численность населения Земли (до 6.5 млрд человек в 2006 г.), но и сохраняется тенденция дальнейшего её возрастания. Еще в начале 50-х годов эта цифра была вдвое меньше. Во – вторых, промышленное производство, выпуск энергии и продуктов сельского хозяйства значительно выросли, хотя и не адекватно росту населения.

Человечество по мощности воздействия на поверхностные оболочки планеты уже не уступает суммарному воздействию всех живых организмов, оно использует не только огромные энергетические ресурсы биосферы, но и не биосферные источники энергии (например, атомную), ускоряя при этом геохимические преобразования природы. Отдельные антропогенные процессы при этом направлены противоположно по отношению к естественному ходу их в биосфере. Это рассеивание металлов руд, углерода и других биогенных элементов, торможение минерализации и гумификации, освобождение законсервированного углерода (уголь, нефть, газ) и его окисление (сгорание), нарушение крупномасштабных процессов в атмосфере, влияющих на климат и т. п. В конечном итоге все это приводит к экологическим кризисам в биосфере.

**Экологический кризис** — ситуация, которая возникает в экологических системах (биогеоценозах) в результате нарушения равновесия под воздействием стихийных природных явлений или в результате воздействия антропогенных факторов (загрязнение человеком атмосферы, гидросферы, педосферы, разрушение естественных экосистем, природных комплексов, лесные пожары, зарегулирование рек, вырубка лесов и др.). В более широком смысле экологический кризис — критическая фаза в развитии биосферы, при которой происходит качественное обновление живого вещества (вымирание одних видов и возникновение других). Здесь уместно привести образное

высказывание: «...Экологический кризис — это кнут, которым природа направляет нас на единственно прогрессивный «зеленый» путь развития. Но это и топор, которым природа отсекает с дерева человечества тупиковые ветви».

В предыстории и истории человечества ученые выделяют ряд экологических кризисов.

Современный кризис часто называют «кризисом редуцентов», поскольку природные редуценты уже не успевают очищать от техногенных отходов или вообще не способны это делать в силу чуждого природе характера выбрасываемых искусственных синтетических веществ – *ксенобиотиков*. Иначе говоря, биосфера потеряла способность к самовосстановлению.

Почти одновременно с «кризисом редуцентов» активно проявляются и два других экологических напряжения: термодинамическое (тепловое) и обусловленное снижением надежности экосистем. Они связаны с экологическими последствиями перепроизводства энергии в нижней тропосфере (парниковый эффект, строительство тепловых и атомных электростанций и т.д.), а также нарушением природного экологического равновесия. Указанные экологические кризисы (они уже начались и обострятся в ближайшем будущем), возможно, будут разрешены, если смогут произойти энергетическая и экологическая революции.

За последние десятилетия во многих регионах планеты внешняя среда по токсической агрессивности стала другой, чем та, в которой происходила эволюция живых организмов и которая породила человека. По сути, современное человечество как бы переселилось на другую, более враждебную планету. Она лишь внешне похожа на Землю, где в течение миллионов лет формировался человеческий организм. Адаптационные системы оказались незащитными перед новыми видами биологической агрессии. Отсюда и невозможность отдельного человека, вернее, его внутренних механизмов и систем жизнеобеспечения приспособиться к лавинообразной трансформации внешней среды. При этом специалисты в области генетики указывают на необходимость учета еще двух моментов, которые обусловлены спецификой наследственного аппарата: 1) паталогические сдвиги в иммунной системе не только могут передаваться по наследству, но при неблагоприятных условиях имеют тенденцию к накоплению; 2) мужская особь вследствие особенностей механизма адаптации будет больше страдать от экологического прессинга.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), если повреждение генетического аппарата у новорожденных превысит 10%, то неизбежно начнется вырождение нации. Ныне, по экспертным оценкам, этот предел в некоторых зонах экологического бедствия стран Европы, Азии, Америки уже превышен. Удивительно, но неблагоприятно по этому показателю даже в процветающей Японии: по-видимому, от «мести» природы не спрятаться никому.

Как известно, СПИД (синдром приобретенного иммунного дефицита) вызывается ВИЧ - инфекцией. Если оценивать это явление с ин-

формационных позиций, то СПИД можно рассматривать как снижение иммунной системы человеческого организма. Исследования показали, что деградация окружающей природной среды вызывает угнетение и даже разрушение последней. Отсюда, нет принципиальной разницы, вызывается ли подавление иммунной системы вирусом ВИЧ или экологическим прессингом. Это дает возможность сформулировать понятие *экологического синдрома приобретенного иммунного дефицита* (ЭСПИД).

Лавинообразный технократический прогресс вызывает и лавинообразную глобальную деградацию природы, а это, в свою очередь, способствует соответствующему снижению иммунного статуса человеческой популяции. Интеграция всех этих процессов ведет к снижению ее интеллекта, возрастанию степени дебильности, уменьшению здорового ядра популяции, и, как следствие, замедление темпов прогресса в недалеком будущем. С точки зрения эволюционной экологии человека, качество человечества по критериям здоровья невелико и продолжает снижаться. Оно попадает в зависимость от применения средств продления жизни, которые однако не могут снизить общую заболеваемость людей: более 30% их больны, а в возрасте 60 лет – 80%.

Отсюда вполне правомочен вывод, что наиболее хрупкой в условиях экологических кризисов и катастроф оказывается иммунная система человека. Это обстоятельство, если не принять надлежащих и весьма оперативных мер, способно ускорить гибель цивилизации.

В июне 1992 г. в г. Рио-де-Жанейро состоялась Конференция ООН по окружающей среде и развитию, которая приняла историческое решение о необходимости корректировки курса развития всего мирового сообщества. Такое беспрецедентное решение глав правительств и лидеров 179 стран было обусловлено стремительно ухудшающейся глобальной экологической ситуацией и прогнозом о возможной глобальной катастрофе уже в XXI веке.

Среди проблем экологического характера, согласно изданному Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) докладу «Глобальная экологическая перспектива ГЕО-3» (Найроби, 2002 г.), которые окажутся основными в XXI веке, названы следующие: изменение климата в результате выброса парниковых газов, недостаток и загрязнение пресной воды, исчезновение лесов и опустынивание, сокращение биоразнообразия, рост численности населения (и его перемещение), удаление отходов, загрязнение воздуха, деградация почв и экосистем, химическое загрязнение, истощение озонового слоя, урбанизация, истощение природных ресурсов, нарушение биогеохимических циклов, распространение новых заболеваний. Почти каждая из этих экологических проблем может, если будет продолжаться стихийное развитие Цивилизации, привести к деградации и даже гибели человечества и биосферы.

Конференция продемонстрировала осознание пагубности традиционного пути развития, который был охарактеризован как модель неустойчивого развития, чреватая опасностями, угрозами, кризисами, катастрофами, омницидом (гибелью всего живого). Переход на новую модель

(стратегию) развития, получившую наименование устойчивого развития, представляется естественной реакцией мирового сообщества, стремящегося к выживанию и продолжению дальнейшего поступательного развития.

В.И. Вернадский еще в начале XX столетия предупреждал: «Мы переживаем не кризис, волнующий слабые души, а величайший перелом научной мысли человечества, совершающийся лишь раз в тысячелетие». Выдающемуся французскому естествоиспытателю конца XVIII и начала XIX вв. Ж.Б. Ламарку принадлежат слова «...Можно, пожалуй, сказать, что назначение человека как бы заключается в том чтобы уничтожить, свой род, предварительно сделав земной шар не пригодным для обитания». Задолго до нашего трагического времени эти ученые предвидели и обозначили немислимый еще совсем недавно кризис - кризис нашей техногенной цивилизации, кризис человечества в его сложных, а подчас противоестественных отношениях с природой.

### **1.3. Стратегии мирового развития с учетом экологических ограничений**

Обусловленные техногенной деятельностью изменения природной среды бумерангом вернулись и к их первоисточнику — человеку, стали негативно сказываться на самых различных сторонах общественной жизни, вызывать всевозможные коллизии социального характера. Это обстоятельство обусловило настоятельную необходимость глубокого и всестороннего осмысления современного состояния системы «общество—природа», нахождения путей гармоничного сочетания природопользования и природосбережения. Ниже приведится обзор современных концепций мирового развития.

**Система «природа—общество»: основные концептуальные положения и законы.** Анализ всего предшествующего общения человека и естественной среды его обитания позволили выделить следующие концептуальные **основы экологической доктрины** (доктрина - руководящий теоретический принцип):

1. Природа и общество представляют собой систему взаимосвязанных подсистем, где естественные связи человека и среды его обитания органически переплетаются с социальными связями.
2. Система **«природа—общество»** состоит из двух подсистем, соответствующих двум формам взаимодействия общества и природы — использованию и охране природной среды. Экономическая подсистема направлена на использование, потребление, преобразование природы человеком. Ее задача - обеспечить удовлетворение экономических интересов общества. Вторая подсистема — экологическая, она выражает экологические интересы человека, следовательно, и всего общества в чистой здоровой, продуктивной и многообразной окружающей природной среде.
3. В центре системы **«природа - общество»** стоит человек, выступая при этом одновременно и как субъект воздействия на природу в результате своей практической деятельности (в экономической

подсистеме), и как объект, испытывающий обратное воздействие природы (в экологической подсистеме).

4. Экономические интересы, выраженные экономической подсистемой, и экологические, проявляемые в рамках экологической подсистемы, едины по своей социальной направленности, так как все они призваны обеспечить **качество жизни человека**. Однако такое единство противоречно. С объективной стороны, противоречия такого рода суть следствия постоянного экономического воздействия на природную среду, потребления и использования ее ресурсов. Подобное воздействие вносит отрицательные элементы в содержание экологической функции, выполняемой природой, путем ее попутного загрязнения, истощения и разрушения ее элементов. В субъективном отношении такие противоречия возникают из-за пренебрежения человеком законами развития природы. В единстве и борьбе этих противоречий, преодолении недостатков системы следует видеть источник ее развития.

Система «природа — общество» развивается по диалектическим законам, предполагающим единство и взаимосвязь естественного и социального мира. Эти законы равно распространяются как на экологические, так и на экономические отношения.

**Закон единства и взаимосвязи** природной среды требует учитывать интересы ее охраны, как при эксплуатации природных ресурсов, так и в процессе принятия мер природоохранительного содержания. При решении отдельной проблемы охраны или использования природной среды необходимо учитывать в комплексе все факторы, способные оказать воздействие на нее.

Важное значение для охраны природной среды имеет закон **обязательного перехода количественных изменений в коренные качественные изменения**. Постепенное загрязнение среды на определенном этапе может привести к коренным качественным ее изменениям, при котором экологическая среда превратится в зону, опасную для здоровья человека, для растительного и животного мира.

Третий закон диалектики отражает **единство и борьбу противоположностей**. Во взаимоотношениях с природой в качестве противоборствующих сторон здесь выступают две категории интересов общества: экономические интересы общества в удовлетворении своих материальных потребностей и экологические интересы человека и всего общества в чистой и здоровой для жизни окружающей среде. Противоречие между этими интересами существовало всегда, так как удовлетворение материальных потребностей неизбежно влечет за собой ущемление биологических средств удовлетворения интересов человека. Доведение этих противоречий до критической точки, до антагонизма приводит к состоянию экологического кризиса, заводит общество в экологический тупик.

Следующий закон диалектики — **отрицание отрицания** можно истолковать в широком смысле как борьбу нового со старым, как отрицание новым старого на пути движения вперед, и в узком смысле — как отрицание

человеком в результате своей нерациональной деятельности в природе самого себя, смысла своего существования в будущем. Человек, развивая хозяйство без соблюдения экологических интересов, отрицает свое существование, отрицает самого себя.

**Социоприродные законы.** Важной задачей современной экологии является установление качественно новых типов законов, которые отражали бы взаимосвязь общества, техники и природы в масштабах единой системы - **социоприродных законов**. Они могут быть подразделены на законы *экорегресса*, игнорирование которых ведет к разрушению биосферы и гибели человечества, и *экопрогресса*, способствующие, напротив, поддержанию устойчивости геосистем.

Примером первых законов служит закон **развития природной системы за счет окружающей среды**: любая природная система развивается только за счет использования материально-энергетических и информационных возможностей окружающей ее среды. Абсолютно изолированное саморазвитие невозможно.

Данный закон имеет большое теоретическое и практическое значение благодаря основным следствиям, вытекающим из него:

1. Абсолютно безотходное производство невозможно, так как оно было бы равнозначно созданию «вечного двигателя». Представление о том, что биосфера «работает» по принципу безотходности также следует признать ошибочным, поскольку в ней всегда накапливаются выбывающие из биологического круговорота вещества, формирующие осадочные породы.
2. Любая высокоорганизованная биотическая система, которая использует и видоизменяет среду жизни, представляет потенциальную угрозу для более низкоорганизованных систем. Отсюда следует принципиальной важности вывод: **в земной биосфере повторное зарождение высокоорганизованной жизни вряд ли возможно — она будет уничтожена существующими низшими организмами.**
3. Биосфера Земли как система развивается не только за счет ресурсов планеты, но опосредованно за счет и под управлением космических систем (естественно, прежде всего Солнца).

Весьма полезно знать и **принцип неполноты информации** (принцип неопределенности): при проведении акций (особенно крупномасштабных) по преобразованию природы имеющаяся информация всегда недостаточна для априорного (независимого от опыта) суждения о всех возможных последствиях (особенно в далекой перспективе) осуществляемого мероприятия.

Данный принцип обусловлен чрезвычайной сложностью природных систем, их уникальностью и неизбежностью формирования ответных природных цепных реакций, направление которых весьма трудно предсказать. Поэтому с целью уменьшения степени неопределенности необходимо дополнять математическое моделирование исследованиями в природных условиях, натурными экспериментами и выяснением естественной динамики природных процессов. Такой подход особенно важен

при экспертизе крупных проектов преобразования природных систем, которые затрагивают интересы населения различных регионов, а также основы жизнедеятельности многих видов растений и животных.

К законам экопрогресса можно отнести правило «мягкого» управления природой: «мягкое» (опосредованное, направляющее, восстанавливающее экологический баланс) управление природными процессами способно вызвать желательные (положительные) цепные реакции и потому социально - экономически предпочтительнее «жесткого» техногенного.

В качестве примера можно сопоставить две формы ведения лесного хозяйства — сплошную вырубку деревьев («жесткое» управление) и выборочную рубку («мягкое» управление). Первая, несомненно, экономически более приемлема, так как при этом в один прием забирается вся древесина. Однако следует учитывать возникающую цепь экологических ущербов, требующих в дальнейшем больших затрат на их ликвидацию. Напротив, при выборочных рубках управление восстановлением леса облегчается из-за сохранения лесной среды, а это в свою очередь, приводит к тому, что повышенные начальные затраты постепенно окупаются в результате предотвращения экологического ущерба. Ныне признается, что различные формы мелиорации земли, без которой невозможно снабжение продовольствием растущего населения планеты, должны быть основаны только на «мягком» управлении природой.

Американский эколог Б. Коммонер, обобщив положения биоэкологии и изучив опыт человечества в области природообразующей деятельности, сформулировал ряд социально-экологических законов (афоризмов) выделив из них 4 основных:

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

Очевидно, что вышеприведенные законы не охватывают все стороны взаимодействия общества и природы. Тем не менее, будучи простыми, по форме, но глубокими по содержанию, они закладывают основу нравственного отношения к природе.

Осознание катастрофичности сложившегося типа экономического развития, конечности природных ресурсов и взаимозависимости всех эколого-экономических процессов на нашей небольшой планете явилось причиной начала разработки концепций мирового развития. Особенно активно эти разработки начались в развитых странах Запада, где уже в 70-е годы XX века развитие производства стало наталкиваться на ограниченность природных ресурсов.

**Биосфероцентрический** (в общем случае — природно-экологический) признак понятия связан с сохранением биосферы как естественной основы всей жизни на Земле, ее устойчивости и естественной эволюции, с тем чтобы дальнейшее развитие человечества не происходило бы в экоотрицающей форме.

Формулирование новой цивилизованной стратегии развития означает постепенное соединение в единую самоорганизующуюся систему экономической, экологической, социальной и других сфер деятельности. В этом смысле устойчивое развитие должно характеризоваться (как минимум) экономической эффективностью, биосферосовместимостью и социальной справедливостью при общем снижении техногенного пресса на биосферу.

Под *устойчивым* следует понимать такую форму развития человечества, при которой удовлетворение потребностей настоящих поколений осуществляется без ущерба для будущих поколений; это управляемое сбалансированное развитие общества, не разрушающего своей природной основы и обеспечивающего непрерывный прогресс цивилизации, т. е. это коэволюционное (сопряженное, совместное) развитие системы «человек-общество-природа».

К сожалению, путь развития, по которому сейчас идет все современное человечество, не в состоянии обеспечить экологическую устойчивость. Это было осознано на Всемирном саммите по устойчивому развитию (ВСУР) в г. Йоханнесбурге в августе-сентябре 2002 г., подтвердившем необходимость перехода к устойчивому развитию. Этот вывод конкретизировался в официальных документах ВСУР: «Йоханнесбургской декларации по устойчивому развитию» и «Плане осуществления (выполнения) решений на высшем уровне».

Из официальных документов ВСУР следует, что практическую реализацию перехода к устойчивому развитию всего человечества предполагалось начать с 2005 г. Именно к этому времени государства, входящие в ООН, должны были подготовиться в концептуально-стратегическом и организационно-управленческом плане к реализации новой цивилизационной парадигмы, т. е. создать концепции, планы действий, стратегии, программы, органы (службы, советы и т. п.) для того, чтобы реализовать новый для мирового сообщества курс социально-экономического развития. А десятилетие (2005—2015 годы) стало бы, по решению ВСУР, декадой начала перехода к обществу устойчивого развития. Обозначены в Плане ВСУР и ряд других сроков, например, к 2015 г. предполагается уменьшить вдвое число людей планеты, не имеющих необходимых санитарных условий и доступа к чистой питьевой воде, восстановить устойчивое рыболовство, снизить темпы потери биоразнообразия и т. д.

Термин **«устойчивое развитие»** получил широкое распространение после публикации доклада, подготовленного для ООН в 1987 г. специально созданной в 1983 г. Международной комиссией по окружающей среде и развитию, издавшей книгу «Наше общее будущее». В русском издании этой книги английский термин «sustainable development» переводится как «устойчивое развитие», хотя имеются и другие его значения — поддерживаемое, длительное, непрерывное, подкрепляемое, самоподдерживаемое, сбалансированное, защищенное (развитие).

Очевидно, что все завоевания цивилизации без решения проблем окружающей среды поставлены под угрозу уничтожения. Они могут

исчезнуть потому, что все человечество будет ввергнуто в пучину планетарной экологической катастрофы, поскольку богатства природы, способности самовосстановления биосферы окажутся полностью исчерпанными. Стало также очевидно, что необходимо коренным образом изменить стратегию развития человечества и даже сам способ жизнедеятельности (образ жизни) каждого человека, провести самые кардинальные за всю историю цивилизационные трансформации, которые обеспечили бы выживание человечества в третьем тысячелетии.

Весь мир стоит на пороге не менее, а, может быть, и более фундаментальной — третьей (после аграрной и индустриальной) цивилизационной революции. Стратегия устойчивого развития не может быть выработана, исходя из традиционных общечеловеческих представлений и ценностей, стереотипов мышления. Она требует разработки новых научных и мировоззренческих подходов, соответствующих не только современным реалиям, но и предлагаемым перспективам развития системы «общество — природа».

Следует отметить, что многие известные ученые скептически относятся как к идее, так и стратегии устойчивого развития. Так, согласно мнению академика РАН Н.Н. Моисеева, не может быть чисто технологического пути преодоления экологических кризисов. Прежде всего должна быть изменена шкала человеческих ценностей и даже сам процесс развития человечества, которое ныне идет по пути потребления. Процесс глобализации, происходящий в мире под фактическим управлением США, только усиливает экологический кризис, постепенно переходящий в кризис цивилизации, углубляет пропасть между богатыми и бедными странами. Другие ученые, считая концепцию устойчивого развития опасным заблуждением, своего рода успокоительной пилюлей для встревоженной общественности, тем не менее полагают, что накопленный интеллектуальный капитал может остановить разрушение природы. Для этого должен неукоснительно выполняться принцип динамично сбалансированного развития триады «экономика — природа — общество». Кто прав — покажет будущее.

В достаточно полном виде понятие безотходная технология сформулировано на Общевропейском совещании по сотрудничеству в области охраны окружающей среды (Женева, 1979 г.). На совещании принята специальная «Декларация о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов», в которой говорится, что «безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду».

На семинаре Европейской экономической комиссии по малоотходной технологии (Ташкент, 1984 г.) дано более конкретное определение: «Безотходная технология — это такой способ производства продукции (процесс, предприятие, территориально-производственный комплекс), при

котором наиболее рационально и комплексно используются сырье и энергия в цикле сырьевые ресурсы — производство — потребление — вторичные сырьевые ресурсы таким образом, что любые воздействия на окружающую среду не нарушают ее нормального функционирования».

Под малоотходным понимается «...такой способ производства продукции (процесс, предприятие, территориально-производственный комплекс), при котором вредное воздействие на окружающую среду не превышает уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами; при этом по техническим, организационным, экономическим или другим причинам часть сырья и материалов переходит в отходы и направляется на длительное хранение или захоронение».

В настоящее время, особенно за рубежом, часто применяется термин чистое производство как «...производство, которое характеризуется непрерывным и полным применением к процессам и продуктам природоохранной стратегии, предотвращающей загрязнение окружающей среды таким образом, чтобы понизить риск для человечества и окружающей среды». Применительно к процессам - это рациональное использование сырья и энергии, исключение применения токсичных сырьевых материалов, уменьшение количества и степени токсичности всех выбросов и отходов, образующихся в процессе производства.

С точки зрения продукции чистое производство означает уменьшение ее воздействия на окружающую среду в течение всего жизненного цикла (продукта) от добычи сырья до утилизации (или обезвреживания) после использования.

В рыночных условиях реализация безотходных производств обусловлена развитием и применением в основном экономических методов стимулирования, связанных с налоговыми льготами.

#### **1.4. Цивилизационная революция XXI века**

Наиболее ощутимым в смысле воздействия на среду обитания человека и достаточно хорошо изученным можно считать загрязнение окружающей среды. Оно непосредственно связано с научно-техническим прогрессом и отражает негативные для природы аспекты этого прогресса последствия техногенной деятельности человека.

Главная опасность техногенеза — внесение в круговорот веществ, несвойственных природе, разрывающих замкнутый цикл или искажающих процесс круговорота веществ. Вредные воздействия могут происходить не только от введения в круговорот чуждых природе веществ (яды, убивающие редуцентов, вредное воздействие на развитие продуцентов, разрыв в цепи консументов и т. д.), но и введение в круговорот энергий, количественно несвойственных природе в целом или конкретному компоненту окружающей среды.

Загрязнение окружающей среды — это любое внесение в ту или иную экологическую систему (биогеоценоз) не свойственных ей живых или неживых компонентов, физических или структурных изменений, прерывающих или нарушающих процессы круговорота и обмена веществ,

потоки энергии и информации с непременными последствиями в форме снижения продуктивности или разрушения данной экосистемы.

Академик А.В. Сидоренко указывает три основные причины загрязнения и разрушения окружающей среды и истощения природных ресурсов в результате техногенной деятельности из-за: 1) простого нарушения количественного равновесия между потребностью в природных ресурсах и фактическим их изъятием из естественного круговорота; 2) чрезмерного техногенного воздействия на природную среду, превышающего критические пороги антропогенной нагрузки на данный природный комплекс; 3) игнорирования или нарушения экологических принципов в извлечении и воспроизводстве природных ресурсов.

По своему происхождению промышленные загрязнения могут быть механическими, химическими, физическими и биологическими.

*Механические* — пыль в воздухе, твердые частицы и разнообразные предметы в воде и почве.

*Химические* — всевозможные газообразные, жидкие и твердые химические соединения и элементы, попадающие в атмосферу и гидросферу и вступающие во взаимодействие с окружающей средой.

*Биологические* — это виды организмов, появившиеся при участии человека и наносящие вред ему или живой природе.

Отрицательно влияя на окружающую среду, загрязнения, в свою очередь, могут подвергаться определенному воздействию окружающей среды. По этому важному с экологической точки зрения признаку различают *стойкие* (неразрушаемые) загрязнения и *разрушаемые* под действием природных химико-биологических процессов.

### ***Основные черты цивилизационной революции.***

Ушедший век оказался веком грандиозных социальных перемен и потрясений, экономических и экологических изменений. Всего за одно столетие человечество увеличило свою численность в 6 раз, а темпы роста экономики более чем в 300 раз. Следует подчеркнуть, что основным и единственным источником этого беспрецедентного роста явились природные ресурсы, биоресурсы, природа Земли, многие из которых оказались невозполнимыми, а подчас и безвозвратно потерянными. При этом в общем загрязнении среды обитания человечества 80-85% приходится на промышленно развитые страны (Германия, США, Англия Франция и др.), хотя их население составляет лишь 20% от мирового.

Основным следствием хозяйственной деятельности человека служит нарушение им естественных экосистем. На нарушенных территориях (табл. 1.1.) не успевает восстанавливаться устойчивое состояние, идет непрерывный распад органического вещества, нарушен нормальный сбалансированный оборот биогенных веществ, что вынуждает затрачивать дополнительную энергию для его поддержания и для очистки окружающей среды.

На Земле осталось (за вычетом ледников и скал) около 50 млн км<sup>2</sup> ненарушенных территорий. В наибольшей степени экосистемы нарушены в Европе, Северной Америке и частично в Азии. Во многих странах этих

регионов сельскохозяйственные угодья, населенные пункты и хозяйственная инфраструктура занимают от 40 до 80% их территории. Это относится к США, Великобритании, Японии и другим странам.

В Северном полушарии сформировались три центра экологической деградации, тесно связанных с ростом плотности населения: Североамериканский (США, Мексика, частично Канада) — 6 млн км<sup>2</sup>; Европейский (Западная, Центральная и Восточная Европа со странами Балтии, Европейская часть России) — 7 млн км<sup>2</sup>; Азиатский центр (Индостан, Китай без Тибета, Япония, Корея, Филиппины, Цейлон, Бирма, Малайзия) — 7 млн км<sup>2</sup>

Таблица 1.1.

## Площади континентов суши с нарушенными экосистемами

Континент	Общая площадь, млн км <sup>2</sup> (примерно)	Территория, %		
		ненарушенная	частично нарушенная	нарушенная
Европа	9	15	20	65
Азия	53	43	27	30
Африка	34	50	35	15
С. Америка	26	56	18	25
Ю. Америка	20	62,5	22,5	15
Австралия	8,5	62	26	12
ИТОГО	162	48	25	27

Согласно прогнозам, ожидается дальнейшее сокращение площади естественных систем со скоростью 0,5—1,0% в год. В перспективе до 2030г. эта тенденция сохранится, если не будут приняты соответствующие меры. Отметим, что к началу 90-х годов XX века сохранилось лишь около 40% общей площади естественных экосистем. Так, в Нидерландах, стране с самым большим вложением энергии в единицу площади, территория полностью перестроена и естественных экосистем не осталось.

**Потеря биоты биосферы.** Для своего существования биота получает энергию от Солнца. 89% всей органики потребляют микроорганизмы, менее 10% — насекомые и мелкие животные; крупные животные и человек потребляют менее 1%. За последние 100 лет человек уничтожил большой объем органической продукции, чем было создано за сотни миллионов лет. Человек потребляет примерно 30% фотосинтезированной продукции, что ведет к уничтожению биомассы, опустыниванию и пр. При таком интенсивном освоении и уничтожении человеком биоты диким животным не остается пищи для существования, а диким растениям — пространства для

воспроизводства. По имеющимся данным при потере 50% экологического пространства исчезает 10% видов.

Всего на Земле существуют от 5 до 30 млн. видов флоры и фауны, научно описано около 1,5 млн. По различным оценкам в конце XX в. исчезало ежегодно от 5 тыс. до 150 тыс. видов. Конечно, в своей практической деятельности человек использует очень ограниченное число видов биологических организмов, но любой вид выполняет на Земле определенные регулирующие и стабилизирующие функции. Поэтому исчезновение вида понижает порог устойчивости окружающей среды, поскольку именно с ней связано сохранение биоразнообразия.

Наиболее яркие примеры уничтожения биоты — истребление лесов, преобразование естественных растительных покровов в сельскохозяйственные и другие угодья. Масштабы уничтожения лесов колоссальны: за 10 тыс. лет ликвидирована почти половина лесов на Земле. Ныне вырубка лесов идет с темпами 50 га в минуту. Наибольшая опасность для человечества — возможное уничтожение через 40 лет лесов Амазонки.

**Исчерпание природных ресурсов.** В масштабах человеческой жизни все природные ресурсы делятся, как известно, на неисчерпаемые и исчерпаемые. К неисчерпаемым относятся ресурсы космического происхождения: энергия солнечного излучения и ее производные (энергия движущегося воздуха, энергия воды). Исчерпаемые ресурсы — животный и растительный мир Земли, полезные ископаемые. Многие исчерпаемые ресурсы находятся под угрозой исчезновения. При намечившихся тенденциях развития человечества через 100 лет исчезнут запасы пресной воды, кислорода в атмосфере (его количество ежегодно уменьшается на 10—12 млрд т из-за вырубки лесов), древесины, полезных ископаемых (угля, нефти, газа, железа и пр.), плодородных земель (только в XX в. из-за эрозии потеряно около 2 млрд га, т. е. столько, сколько находится в настоящее время под пашнями и пастбищами).

**Химическая интоксикация планеты.** При гибели растительных организмов в атмосферу выбрасывается диоксид углерода; земли, находящиеся в сельскохозяйственном обороте, насыщаются химическими веществами (пестицидами, удобрениями). Сейчас в массовых масштабах производится около 5 тыс. синтезируемых веществ, причем около 80% их не оценены человеком с точки зрения токсичности, воздействия на окружающую среду.

Человек выбрасывает в окружающую среду большое количество отходов: пластмассы, тяжелые металлы, которые по массе превышают естественный оборот (свинец, железо), или вообще отсутствуют в биосфере, поэтому природа не перерабатывает их или перерабатывает с трудом. Самые массовые отходы связаны с производством энергии и транспортом. Сжигание топлива, движение автомобилей приводят к выбросам оксида углерода, оксидов азота  $\text{NO}_x$ , диоксида серы  $\text{SO}_2$ , углеводородов.

На долю автомобилей приходится 25% сжигаемого топлива, один автомобиль за время своего существования выбрасывает до 10 т CO<sub>2</sub> (всего в мире более 700 млн. автомобилей).

Наибольшая загрязненность в индустриальных регионах: около 90% выбросов вредных веществ приходится на 10% территории суши (Северная Америка, Европа, Восточная Азия), особенно на крупные города, где по многим токсичным веществам превышены предельно допустимые концентрации (ПДК). Примерно 20% человечества дышит воздухом, в котором концентрация токсинов превышает ПДК.

**Твердые и опасные отходы.** К концу XX в. на Земле сжигалось в год 3,5 млрд. т нефти, 5,5 млрд. т угля, добывалось 2,5 млрд. т металла, 3 млрд. м<sup>3</sup> древесины и т. п. Основными потребителями служат развитые страны, которые при населении 1 млрд. человек расходуют более 50% энергии, 70% металлов и порождают 75% всех отходов, значительная доля которых (древесины, металлических руд и пр.) остается в странах — поставщиках сырья. Многоотходные производства (выплавка железа, алюминия) перемещаются в слаборазвитые страны. В среднем масса отходов на человека в мире составляет 50 т/год, в ФРГ — 10 т, в Японии — 4 т. Например, в Европе масса отходов такова, что ими можно покрыть всю ее территорию слоем толщиной 10 см.

Химические отходы — это, образно говоря, бомбы замедленного действия. В год образуется 500 млн т опасных отходов, из них 50% в США. На втором месте по количеству отходов находится Россия, на третьем — Индия. Вредные отходы содержат тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть), которые, накапливаясь в организме человека (печень, почки), вызывают отравления, болезни, снижение репродуктивной функции.

Наиболее опасны радиоактивные отходы (РАО). Первая атомная бомба была взорвана 60 лет назад (1945 г.), с тех пор в мире было произведено около 2 тыс. взрывов. В результате радиоактивный фон планеты повысился на 2%.

**Загрязнение вод.** Пресная вода в гидросфере Земли составляет всего 2%, из которых 99% приходится на лед. В реках и озерах содержится всего 90 тыс. км<sup>3</sup> пресной воды, ее потребление человечеством составляет 4 тыс. км<sup>3</sup> в год (70% — сельское хозяйство, 30% — промышленность и коммунальное хозяйство). Истощение запасов пресной воды наступит через несколько десятков лет.

Пресная вода повсеместно загрязнена, общая масса загрязнителей составляет более 15 млрд т в год. Наиболее опасные загрязнители — тяжелые металлы, фенолы, пестициды, поверхностно-активные вещества, нефтепродукты. Загрязнения воды вызывают рак, кариес, эпидемии, умственную отсталость и другие заболевания.

**Кислотные дожди.** В последние 15—20 лет возникла экологическая проблема кислотных дождей (pH < 5.0). При сжигании различных видов топлив, а также с выбросами различных предприятий в атмосферу поступает значительное количество оксидов серы и азота. При взаимодействии их с

атмосферной влагой образуются азотная и серная кислоты. К ним примешиваются органические кислоты и некоторые соединения, что в сумме дает раствор с кислой реакцией.

Согласно расчетам, доля диоксида серы в образовании кислых осадков составляет около 70%. Появлению кислых осадков способствует также  $\text{CO}_2$ : из-за его постоянного присутствия в атмосфере рН осадков 5,6 уже является обычным.

В дальнейшем кислоты выпадают на поверхность суши или водоемов в виде кислотных дождей или иных атмосферных осадков. Отмечены случаи выпадения осадков с рН 2,2—2,3, что соответствует кислотности уксуса.

Общее количество выбросов  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_2$  в мире ежегодно составляет более 250 млн т. В пересчете на душу населения количество выбросов (кг/год): в Дании - 4, бывшем СССР — 18, Англии - 32, Польше - 55, Австрии — 8, Германии — 160, Италии — 20, Швеции — 6.

Кислые осадки особенно типичны для Скандинавских стран, а также Англии, ФРГ, Бельгии, Дании, Польши, Канады, северных районов США.

**Истощение озонового слоя.** В последние годы наблюдается устойчивая тенденция снижения содержания озона в слоях атмосферы. По разным оценкам, в средних и высоких широтах северного полушария такое уменьшение составило 2 – 100%.

Наиболее значительная потеря озона регистрируется над Антарктидой, где его содержание в озоновом слое за последние 30 лет уменьшилось на 40—50%. Пространство, в пределах которого регистрируется заметное уменьшение концентрации озона, получило название «озоновой дыры». В настоящее время «озоновая дыра» вышла за пределы континента и по размерам (10 млн км<sup>2</sup>) превышает площадь США.

Крайне опасные для человека и многих животных последствия истощения озонового экрана — увеличение числа заболеваний раком кожи и катарактой глаз. Из-за уменьшения концентрации озона только на 1% происходит увеличение интенсивности УФ-излучения у поверхности Земли на 15%. В свою очередь, согласно официальным данным ООН, это приводит к появлению в мире 100 тыс. новых случаев катаракты и 10 тыс. случаев рака кожи, а также снижению иммунитета, как у человека, так и у животных.

Помимо ухудшения здоровья, истощение озонового слоя способствует усилению «парникового эффекта», снижению урожайности, деградации почв, общему загрязнению окружающей среды. Проникновение через «озоновые дыры» солнечных рентгено- и ультрафиолетовых лучей, энергия фотонов которых превышает энергию лучей видимого спектра в 50—100 раз, увеличивает число мощных лесных пожаров.

Основным техногенным фактором, разрушающим озон, считают фреоны (хладоны), которые широко используются как газы - носители (пропилленты) в различного рода аэрозольных баллончиках, холодильных установках и т. п.

**Природные катастрофы.** Специалисты указывают на ухудшение обстановки с природными катаклизмами, обусловленное, прежде всего, мощным техногенным воздействием на биосферу и глобальным потеплением

климата. Отмечается, что эта тенденция характерна для всех стран. Замечено, что наиболее быстро возрастает число катастроф с высоким экономическим ущербом: за последние 30 лет их число увеличилось в 4,1 раза. За это же время число катастроф с пострадавшими возросло в 3,5, а катастроф с погибшими — в 2,1 раза.

Согласно данным экспертов США, стихийные бедствия обуславливают от 3 до 5% преждевременной смертности и материальный ущерб около 1% валового национального продукта (ВВП). С 1995 по 1997 год ликвидация последствий природных бедствий обходилась Америке в 50 млрд долл. в год, или 1 млрд долл. в неделю. В результате наводнений в 1991, 1994—1995 и 1998 годах Китай потерял от 20 до 30 млрд долл.

Между природными опасностями существует взаимная связь, одно явление может послужить причиной, спусковым механизмом последующих. Это так называемая *природная цепная реакция*, которая представляет собой цепь природных явлений, каждое из которых влечет за собой изменение других связанных с ним явлений. Так, например, исчезновение насекомоопылителя делает невозможным плодоношение растения, а следовательно, появление новых поколений вида, размножающегося только семенами. Это, в свою очередь, ведет к исчезновению животных, связанных с этим растением, а значит, их паразитов и т. д.

Укажем также, что природные катастрофы часто инициируют техногенные: прорыв плотин, пожары и взрывы, химические загрязнения и т. д., что, естественно, увеличивает экономический ущерб.

*Экологический бумеранг.* Не надо обольщаться очень быстрым увеличением численности человечества в XX в., называемым демографическим взрывом, тем, что почти 75% численности человечества за все время его существования жили в XX и начале XXI веков. Следует задаться вопросом о здоровье человеческой популяции.

Уровень цивилизованности страны определяется в первую очередь не развитием техники и транспорта, а качеством жизни, в котором продолжительность жизни человека является основным показателем (табл. 1.2.)

Таблица 1.2.

## Средняя продолжительность жизни человека в разных странах

Страна	Средняя продолжительность жизни, годы
Япония	80
Франция, Германия	74.78
США	72
Россия	65
Китай	64
Индия	44
Ангола	41

Как видно, с развитием экономики продолжительность жизни растет, и это, казалось бы, весомым аргумент в пользу технократического развития цивилизации. Но есть и обратная сторона медали.

Такая сложнейшая мировая проблема, как демографическая, порождаемая взрывным ростом населения (обусловленным и увеличением продолжительности жизни человека), приводит к резкому повышению нагрузки на окружающую среду в результате увеличения потребностей людей в продовольствии, энергии, жилье, промышленных товарах и т. д. Очевидно, что без решения демографической проблемы, без стабилизации численности населения невозможно сдержать развитие кризисных экологических процессов на планете. В свою очередь экологические проблемы опустынивания, обезлесения, вызывая деградацию и гибель сельскохозяйственных земель, приводят к обострению мировой продовольственной проблемы. В результате около 20% жителей планеты постоянно недоедают; каждый день от голода умирает 35 тыс. человек, из них три четверти — дети до 5 лет.

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ

## Глава 2. Экологические проблемы топливно-энергетического комплекса и пути их решения

### 2.1. Природное топливо

Топливо — это горючее вещество, выделяющее при окислении тепловую энергию, используемую в дальнейшем непосредственно в технологических процессах или преобразуемую в другие виды энергии.

Топлива делятся: 1) по агрегатному состоянию — на твердое (угли, горючие сланцы, торф и др.), жидкое (продукты переработки нефти, углей, сланцев) и газообразное (природные и промышленные углеводородные газы); 2) по происхождению — на природные и искусственные.

Твердое топливо применяется преимущественно для получения тепловой и электроэнергии; жидкое — в двигателях внутреннего сгорания, в корабельных (судовых) и стационарных котельных установках (мазуты флотские и топочные); газообразное — главным образом в промышленности и коммунально-бытовом хозяйстве.

К основным видам природного топлива относятся ископаемый уголь, торф, нефть, дрова и природный газ.

Ископаемый уголь используется как непосредственно для сжигания, так и в целях переработки в более ценные виды топлива — кокс, жидкое горючее, газообразное топливо. Уголь представляет собой остатки древнего растительного мира; при этом чем старше уголь, тем богаче он углеродом.

Различают три основных вида ископаемых углей.

**Антрацит** — самый древний из ископаемых углей, отличается высоким содержанием углерода, большой плотностью и металлическим блеском. В больших количествах добывается также **каменный уголь**. **Бурый уголь** как самый молодой из ископаемых углей часто сохраняет следы структуры древних деревьев, из которых он образовался. Содержит много золы, гигроскопичен, поэтому используется в основном как местное топливо и в качестве сырья для химической переработки.

**Торф** — продукт первой стадии образования ископаемых углей. Он отлагается на дне болот из отмерших частей болотных мхов. Главный недостаток торфа как топлива — высокая зольность. Поэтому он используется как местное топливо. Дрова ныне занимают второстепенное место в общем балансе топлива.

**Нефть** — единственное жидкое природное топливо, она является сложной смесью циклопарафинов (нафтенов), предельных и ароматических углеводородов. Нефть как топливо непосредственно не применяется, а перерабатывается в товарные нефтепродукты методами фракционированной перегонки, термического и каталитического крекинга, каталитического риформинга и т. д. Нефть как энергоноситель получила широкое применение с тех пор, как в конце XIX в. был создан двигатель внутреннего сгорания (ДВС), работающий на продуктах высокотемпературного крекинга. Однако следует помнить, что нефть является в то же время и важнейшим видом сырья для производства самых разнообразных химических продуктов.

**Газообразное топливо**, состоящее в основном из метана ( $\text{CH}_4$ ) и других предельных углеводородов (общей формулой  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ), имеет ряд преимуществ перед твердым топливом: 1) экономически более выгодна добыча и транспортировка; 2) упрощается устройство топок и облегчается труд человека при подаче топлива в печь; 3) упрощается управление процессом горения и облегчается соблюдение гигиены труда; 4) достигается более полное и рациональное сжигание топлива; 5) почти полностью устраняется загрязнение окружающей среды. По этим причинам газообразное топливо находит себе все более широкое применение в промышленности, а также в качестве бытового топлива и в автотранспорте. Кроме того, природный газ является исключительно ценным и экономически выгодным сырьем для промышленности органического синтеза (например, ацетилена, метанола и др.).

Одинаковые количества топлива дают при сжигании различные количества теплоты. Поэтому для оценки качеств топлива определяют его **теплотворную способность**, т. е. количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании 1 кг топлива. Энергопотребление в целом и его составляющие принято выражать в тоннах условного топлива (ТУТ). Под условным топливом понимают горючее с теплотворной способностью 7000 ккал/кг или  $3 \cdot 10^4$  кДж/кг, или 8,12 кВтч/кг.

## 2.2. Искусственное топливо.

К искусственным топливам относятся: кокс доменных печей, искусственные горючие газы, моторное топливо и др.

**Кокс** — твердый углеродистый остаток, образующийся при нагревании различных топлив (каменного угля, торфа и других органических веществ) до 950—1050°C без доступа воздуха. Содержание углерода в коксе достигает 96—98%, остальное — водород, сера, азот, кислород; теплота сгорания 29300 кДж/кг. Каменноугольный кокс применяют для выплавки чугуна (доменный кокс) как высококачественное бездымное топливо и одновременно восстановитель (до элементарного железа) железной руды.

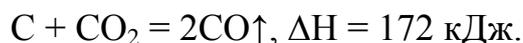
**Искусственные горючие газы** — смесь газообразных продуктов переработки (газификации) топлив в специальных аппаратах. Они состоят главным образом из оксида углерода, водорода, метана и других газообразных углеводородов, а также из негорючих газов (диоксида углерода и азота). Искусственные горючие газы подразделяют на генераторные газы, коксовые газы, газы, образующиеся при газификации твердых топлив (воздушный газ, водяной газ).

**Генераторные газы** получают из твердого топлива путем частичного окисления содержащегося в нем углерода при высокой температуре. Этот процесс, называемый газификацией, осуществляется в специальных устройствах — газогенераторах. При этом в зависимости от состава вдуваемых газов различают воздушный, водяной, паровоздушный (смешанный) и другие генераторные газы.

**Воздушный газ** образуется при вдувании воздуха. При этом в нижней части генератора протекает реакция:



Из-за высокой экзотермичности процесса температура достигает 1400—1600°C, при этом вышележащие слои угля раскаляются, и уголь взаимодействует с CO<sub>2</sub>:



Образующийся газ в основном состоит из оксида углерода (CO) и азота.

**Водяной газ** получают при подаче на раскаленный уголь водяного пара:



Газ содержит до 86% CO и H<sub>2</sub>, и часто используется не только как топливо, но и для синтеза химических продуктов.

**Паровоздушный (смешанный) газ** получают при вдувании смеси воздуха с водяным паром. При этом одновременно протекают все три вышеприведенные реакции и в результате в состав смешанного газа, помимо CO и N<sub>2</sub>, входит и H<sub>2</sub>, повышая его теплотворную способность.

**Коксовый газ** образуется в процессе коксования угля, он представляет собой смесь различных горючих газов.

**Подземная газификация угля** - превращение твердых топлив (угля, горючих сланцев и др.) непосредственно на месте их залегания в недрах земной коры в горючий газ. Последний затем выводят на поверхность через буровые скважины. Впервые мысль о возможности такого процесса была высказана Д.И. Менделеевым в 1888 г. Подземная газификация угля осуществляется под действием высокой температуры (1000—2000°C) и подаваемых под давлением различных окислителей (как правило, воздуха, кислорода и водяного пара). Состав и теплота сгорания получаемого газа зависят как от качества угля и состава дутья, так и от геологических условий. Теплота сгорания составляет 3000—3300 кДж/м<sup>3</sup>. По теплотехническим свойствам газ, полученный на воздушном дутье, уступает природному. Однако при подземной газификации отпадает необходимость в опасном труде людей под землей, улучшается состояние воздушного бассейна, не нарушается плодородный слой почвы.

**Моторное топливо.** Это жидкое или газообразное горючее, используемое в двигателях внутреннего сгорания (поршневых, роторных, реактивных, газотурбинных). Его получают из нефти и углеводородных газов. Обычно моторные топлива состоят из основного (базового) топлива и присадок (антидетонаторов, антиокислителей и др.). Для базового топлива используют продукты прямой перегонки нефти (бензины, керосиногазойлевые и более тяжелые фракции) и вторичных процессов переработки нефти (например, каталитического крекинга).

Моторное топливо для ДВС должно обладать однородностью, обеспечивающей равномерное горение; летучестью, облегчающей старт и при этом допускать наивысшее сжатие без детонации.

В ДВС детонация — быстрый, приближающийся к взрыву процесс горения топливной смеси в цилиндре карбюраторного двигателя, со-

провожающийся его неустойчивой работой (металлический стук в цилиндре, дымный выпуск и др.), износом и разрушением деталей. В результате детонации двигатель перегревается, мощность падает, возможно даже его разрушение.

При **фракционной перегонке** нефть разделяют на отличающиеся по температуре кипения фракции («погоны») и получают следующие нефтепродукты:

- 1) бензины (температуры кипения 40—180°C) содержат углеводороды от  $C_5H_{12}$  до  $C_{10}H_{22}$ ; при повторной перегонке из них могут быть выделены легкие нефтепродукты, кипящие в более узких температурных пределах: петролейный эфир (40—70°C), авиационный бензин (70—100°C), автомобильный бензин (100—120°C);
- 2) керосины (температуры кипения 180—270°C) содержат углеводороды от  $C_{10}H_{22}$  до  $C_{16}H_{34}$ ;
- 3) соляровые масла (температура кипения 270—360°C) содержат смеси углеводородов от  $C_{12}$  до  $C_{20}$ ; из них получают смазочные масла и различные виды дизельного топлива;
- 4) мазут (нефтяные остатки — до 40—50%) содержит еще более тяжелые (высшие) углеводороды; из мазута получают тяжелые смазочные масла, вазелин, парафин.

Антидетонационные свойства моторного топлива характеризуют **октановым числом** (о.ч.). В качестве стандартных образцов для нахождения о.ч. берут углеводород гептан  $C_7H_{16}$  с неразветвленной цепью атомов, весьма легко детонирующий, и один из его изомеров (изооктан) с разветвленной цепью атомов, напротив, мало склонный к детонации:



Октановое число гептана принимается равным нулю, а изооктану приписывается о.ч., равное 100. Если о.ч. топлива равно 76, то это значит, что данный вид топлива детонирует в смеси с воздухом (при такой же степени сжатия), как смесь, состоящая из 76% изооктана и 24% гептана.

Октановое число обычно указывают в марке бензина, например, А-72. Марки автомобильного бензина — А-66, А-72, А-76, АИ-93, АИ-98 (цифры соответствуют о.ч. бензина), авиационный бензин Б-100/130, Б-95/130, Б-91/115 (числитель - октановое число, знаменатель — показатель сортности бензина).

С целью повышения октанового числа автомобильных и авиационных бензинов и обеспечения бездетонационного их сгорания в цилиндрах двигателей в бензины вводят антидетонаторы, представляющие собой, как правило, металлоорганические и органические соединения.

Наиболее распространенный металлоорганический антидетонатор — тетраэтилсвинец (ТЭС, «этиловая жидкость»)  $Pb(C_2H_5)_4$ , примешиваемый к бензину в объеме 1—3 мл на 1 кг. В Беларуси применение этого соединения запрещено нормативными документами.

Механизм предотвращения детонации (микровзрывов) заключается в разрушении гидропероксидов (первичных продуктов сгорания углеводородного топлива) продуктами разложения присадки в момент воспламенения горючего.

При этом следует помнить, что моторные топлива с антидетонатором (например, этилированный бензин) обладают повышенной токсичностью и являются вредными загрязнителями среды обитания.

В ряде случаев к моторным топливам добавляют специальные вещества — антиокислители, предотвращающие их осмоление и образование нагара на стенках цилиндров.

**Дизельное топливо.** Дизельное топливо получают при атмосферной или вакуумной перегонке нефти с последующими гидроочисткой и депарафинизацией. В некоторые сорта дизельных топлив добавляют до 20% гидроочищенного газойля, получаемого каталитическим крекингом.

Топливом для быстроходных дизельных двигателей (танковых, автомобильных и корабельных) служат легкие керосино-газойлевые маловязкие фракции нефти, для тихоходных — тяжелые вязкие фракции (табл. 2.1.).

Таблица 2.1.

Некоторые характеристики дизельных топлив

Показатели	Для быстроходных двигателей	Для тихоходных двигателей
Плотность, г/см <sup>3</sup> , не более	0,850—0,860	0,93
Вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при 20°С 50°С	1,5-6,0 -	- 20 -130
Температура кипения, °С	180—360	250 - 420
Температура застывания, °С	от ~ 55 до - 5	от -5 до -10
Температура вспышки, °С	35—61	65 - 85
Содержание,%, не более ванадий сера	- 0,2 -0,5	0,010 – 0,015 0,5 - 2
Коксуемость,%, не более	0,3	3 - 9
Зольность,%, не более	0,01	0,02 – 0,06

Для разных климатических зон и условий работы дизельные топлива выпускают трех видов: арктическое, зимнее и летнее; они различаются температурой застывания, фракционным составом и другими показателями.

Главные эксплуатационные свойства дизельных топлив — быстрое воспламенение и плавное горение. Эти свойства характеризуются цетановым числом (ц.ч.). Наиболее легко воспламеняются парафиновые углеводороды нормального строения (ц.ч. 56—103), наиболее трудно — ароматические углеводороды (5—30). Оптимальную работу двигателей обеспечивает топливо с ц.ч. 45—60. При ц.ч. менее 45 резко увеличивается период

задержки воспламенения (время между началом впрыска и воспламенением топлива), усиливается износ узлов трения. При ц.ч. более 60 снижается полнота сгорания топлива, возрастают дымность выпускных газов и нагарообразование в камере сгорания, повышается расход топлива.

В связи с тенденцией увеличения доли дизелей на автомобильном транспорте, что связано с их экономичностью и меньшим уровнем загрязнения среды обитания, роль дизельного топлива неуклонно возрастает.

**Реактивное топливо.** В отличие от ДВС, где движущим фактором является давление взрыва горючей газовой смеси мотора, воздушно-реактивные двигатели работают благодаря созданию внутри двигателя мощного газоздушного потока. Последний способен с большой скоростью вращать агрегаты двигателя и создавать на выходе из него большую реактивную тягу. Газоздушный поток образуется в специальных камерах сгорания, где происходит горение топлива в потоке кислорода атмосферного воздуха.

Поскольку всякий недостаток качества топлива для воздушнореактивных двигателей грозит весьма тяжелыми последствиями, к нему предъявляются жесткие требования: оно не должно замерзать при температурах  $-50$   $-60^{\circ}\text{C}$ ; не выделять парь низкокипящих компонентов и образовывать паровые пробки в топливной системе; не образовывать при  $120$ — $200^{\circ}\text{C}$  твердые нерастворимые осадки, не засмолять детали топливных агрегатов; не вызывать отложения нагара в камере сгорания и других частях двигателя; не образовывать корродирующие продукты. В то же время это топливо должно хорошо распыляться при различных режимах работы, обеспечивать работу камеры сгорания при различных коэффициентах избытка воздуха, хорошо воспламеняться при запуске двигателя при разных режимах подачи воздуха.

Реактивное топливо, получаемое из нефти, состоит из углеводородов, включающих парафиновые, нафтеновые, ароматические и непредельные углеводороды. Соотношение этих видов углеводородов в топливе колеблется в известных пределах что, в частности, связано с типом исходной нефти. Например, авиакеросины, широко применяемые как топливо для самолетов и вертолетов с газотурбинными двигателями, представляют собой смеси парафиновых (20—60%), нафтеновых (20—60%), ароматических (18,5—22,0%) и непредельных (0,3—1,0%) углеводородов. Теплота их сгорания не менее 4300 кДж/кг, а содержание ванадия, кобальта, молибдена, ускоряющих коррозию деталей и узлов двигателей из стали, бронзы и меди, не должно превышать  $10^{-5}$  % по массе.

В целом топливо для воздушно-реактивных двигателей представляет собой фракции нефти, выкипающие в пределах  $65$ — $350^{\circ}\text{C}$ , т. е. бензиновая, лигроиновая, керосиновая, а для сверхзвуковых самолетов — газойлевая с соответствующими характеристиками. С учетом назначения летательных аппаратов приходится применять несколько сортов реактивных топлив. Большинство реактивных двигателей может работать на керосине и нефтяном топливе широкого фракционного состава. Последний вид топлива наиболее

широко применяется на дозвуковых реактивных самолетах. Что касается самолетов большой дальности полета, для них важно иметь топливо с большим энергосодержанием в единице объема (т. е. больше парафиновых углеводородов). Для самолетов, летающих на большой высоте со скоростями, близкими к скорости звука, или сверхзвуковых, требуется топливо специфического состава, обладающее меньшей упругостью паров и высокой объемной теплотой сгорания, высокой термоокислительной стабильностью.

Для улучшения эксплуатационных свойств некоторых реактивных топлив в них добавляют антиокислители, антистатика, антиобледенительные, антикоррозионные, бионидные (против микроорганизмов) и другие присадки.

### 2.3. Альтернативное углеродсодержащее топливо

В связи с постепенным истощением запасов нефти и угля, а также усилением загрязнения среды обитания вредными продуктами сгорания развернуты работы по поиску и применению *альтернативного топлива*.

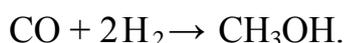
Альтернативное топливо получают в основном из сырья нефтяного происхождения и применяют в целях сокращения потребления нефти и традиционных нефтепродуктов, например, бензина. Основными видами такого топлива являются: 1) сжиженные и компримированные горючие газы; 2) спирты, продукты их переработки и смеси с бензином; 3) топливные смеси; 4) искусственное жидкое топливо; 5) водород.

*Сжиженные и компримированные горючие газы* — это прежде всего углеводородные газы  $C_3$  и  $C_4$  (пропан-бутановые фракции, которые получают переработкой нефтяных попутных и природных газов), а также метан — продукт газификации твердых топлив.

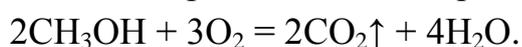
К достоинствам указанных газов следует отнести высокую теплоту сгорания, относительную экологическую безвредность продуктов сгорания. К недостаткам - необходимость применения специального оборудования для сжатия, сжижения, хранения топлива, распределения и транспортирования.

*Спирты, продукты их переработки*. Ныне перспективными видами топлива, особенно автомобильного, признаются низшие спирты: метанол  $CH_3OH$  и этанол  $C_2H_5OH$ . Благодаря высоким октановым числам и небольшому загрязнению природной среды образующимися выхлопными газами они могут использоваться как автомобильное топливо непосредственно или в смесях с бензином.

*Метанол или метиловый спирт*, получают в больших количествах в результате взаимодействия оксида углерода (II) и водорода при высоких давлениях (20—30 МПа) и температуре (400°C) в присутствии гетерогенного катализатора, содержащего около 90%  $ZnO$  и 10%  $Cr_2O_7$ :



Метанол можно получать и при сухой перегонке дерева, поэтому его называют иногда древесным спиртом. Реакция горения метанола:



сопровождается выделением относительно большого количества тепла.

Недостатком метанола является то, что он токсичен: прием внутрь даже небольших доз вызывает слепоту, а больших — смерть.

**Этиловый спирт или этанол**  $C_2H_5OH$  получают из различных сахаристых веществ, например, виноградного сахара (глюкозы). Глюкоза  $C_6H_{12}O_6$  в результате «брожения», вызываемого действием ферментов (энзимов), вырабатываемых дрожжевыми грибами, превращается в этиловый спирт:



В настоящее время осахариванию подвергают целлюлозу (клетчатку), образующую основную массу древесины. С этой целью ее гидролизуют в присутствии кислот. Например, древесные опилки при 150—170°C обрабатывают 0,1—5%-ной серной кислотой под давлением 0,7—1,5 МПа. Полученный в данном процессе полупродукт содержит глюкозу, которая в дальнейшем сбраживается на спирт при помощи дрожжей (гидролизный спирт). Указанный метод производства спирта позволяет сэкономить большое количество пищевых продуктов: из 5500 т сухих опилок (ежегодные отходы среднего по производительности лесопильного завода) можно получить 790 т спирта, что дает возможность сохранить около 3 тыс. т зерна или 10 тыс. т картофеля. Этиловый спирт может быть получен синтетическим путем из этилена (в присутствии катализатора):



Таким образом, метанол и этанол являются весьма перспективными топливами, поскольку для их производства имеется широкая сырьевая база. В частности, в ряде стран Южной Америки этанол постепенно вытесняет бензин как автомобильное топливо.

**Спирто-бензиновые смеси.** С целью повышения детонационной стойкости топлива, а значит и мощности ДВС применяют гомогенные (однородные) смеси метанола или этанола с бензином (3—15% спирта). Основная проблема в их использовании состоит в предотвращении расслаивания компонентов смеси при пониженных температурах.

**Топливные смеси.** Для транспортных дизельных двигателей применяют водно-топливные эмульсии, которые состоят на 80—85% из дизельного топлива, остальное — вода. Взамен жидкого котельного топлива (мазута) или угля (например, на тепловых электростанциях) применяют метанольно-угольные, углемасляные, водно-угольные, водно-углемазутные и другие смеси. Указанные смеси имеют ряд несомненных достоинств: они легко воспламеняются и обладают высокой теплотой сгорания, относительно легко перекачиваются по трубопроводам и хорошо распыляются топочными форсунками.

**Искусственное жидкое топливо.** Получают переработкой, например, гидрогенизацией твердых горючих ископаемых — угля, сланцев, торфа. Гидрогенизация угля — это превращение высокомолекулярных веществ органической массы угля под действием водорода в жидкие и газообразные продукты при 400—500°C в присутствии различных веществ (органических растворителей, катализаторов и т. д.).

Для гидрогенизации применяют неокисленные бурые и каменные угли, в которых содержание минеральной части не должно превышать 5-6 %, отношение С : Н - 16, выход летучих веществ - более 35%. В результате гидрогенизации из угля и каменноугольных смол получают бензин, дизельное топливо, парафины, смазочные масла и т. п.

Элементарный состав жидких продуктов гидрогенизации бурого угля (в%): С - 86,48; Н - 11,43; S - 0,62; N - 0,22; О - 1,25. Легко видеть, что соотношение С : Н достигает 8, что связано с выделением водорода под давлением в процессе гидрогенизации.

Проблема вовлечения твердого топлива, главным образом угля, в переработку для получения жидких продуктов становится ныне весьма актуальной. Это связано с тем, что при существующих масштабах мирового потребления нефти (более 4 млрд т/год) запасы ее, пригодные для добычи экономичными методами, будут истощены уже в первой половине XXI в.

В настоящее время основное количество энергии получают за счет сжигания или переработки природного углеродсодержащего топлива (табл. 2.2.).

Таблица 2.2.

Использование энергоресурсов в разных странах мира( в % от общего)

Страна	Уголь	Нефть	Газ	Ядерная энергия	Гидро-энергия	Энергия ветра	Солнечная энергия
Канада	15	3	6	18	61	3	3
Швеция	2	2	—	43	51	1	1
Швейцария	—	2	—	39	59	—	—
США	54	3	13	19	8	3	3
Германия	57	2	7	29	4	1	1
Великобритания	52	7	11	28	2	2	2
Китай	74	8	—	—	18	—	—
Россия	16	8	46	13*	17	0,003	0,001
Франция	5	1	1	79	14	—	—
Италия	9	52	18	—	19	2	2
Ю. Корея	17	27	9	43	4	—	—
Тайвань	23	21	3	34	9	—	—
Япония	12	22	23	32	9	2	2
Весь мир	40	10	14	17	17	1	1

Естественно, что каждая страна старается использовать те ресурсы, которыми она обладает. Это легко обнаружить по проценту использования каждого вида.

Считается, что качество жизни напрямую связано с потреблением энергии на душу населения. Сейчас на каждого жителя Земли приходится чуть больше 2 кВтч в день при норме 10 кВтч. В промышленно развитых странах этот показатель в 14 раз выше, чем в развивающихся странах. Например, в Норвегии потребляется 25 тыс. кВтч, Италии - 3 тыс., а в Бангладеш - всего 46 кВтч на душу населения в год.

Россия является крупнейшим в мире производителем топливно-энергетических ресурсов: около 17% нефти, 25% газа, 15% каменного угля от добываемых в мире.

Обращает на себя внимание, что в США неуклонно возрастает доля угля (12,5% в 1970 г.), падает нефти (с 45%), заметно снижается доля газа (с 35,6% в 1970 г.). В России же иная тенденция: несмотря на большие запасы угля (крупнейшие в мире) произошло (за этот же срок) снижение его доли с 40 до 16%. Доля газа повысилась с 22 до 46%, нефти - также несколько увеличилась. Таким образом, в России быстрее выгорают те виды энергоресурсов, запасы которых истощаются быстрее.

#### **2.4. Теплоэнергетика и ее воздействие на природную среду.**

**Химическое загрязнение окружающей среды.** При сжигании углеродсодержащего топлива (угля, нефти, газа и др.) оно неизбежно. Рассмотрим особенности поступления вредных веществ при сгорании различных видов топлива.

**Уголь.** При сгорании каменного угля выделяется в 5—10 раз больше оксидов  $\text{NO}_x$ , чем при сжигании других видов топлива (табл. 2.3.).

Однако оксида серы выбрасывается меньше, чем при сжигании мазута. Лишь у низкокачественных бурых углей больше, чем у мазута. Наибольшую сернистость имеют подмосковные и украинские бурые, донецкий, кизеловский, интинский каменные угли, эстонские горючие сланцы. Сибирские угли, как правило, имеют небольшое содержание серы, измеряемое десятими и даже сотыми долями процента.

Выброс твердых частиц при сжигании бурых углей почти в два раза превышает таковой при использовании каменных углей, которые в свою очередь в три раза превышают этот же показатель для мазута. При сжигании природного газа твердых частиц практически не выделяется.

Радиоактивность золы приводит к рассеиванию радиоактивных элементов через дымовые трубы и к разносу радиоактивной пыли с золоотвалов. При этом наибольшая радиоактивность свойственна углям Кузбасса, Донбасса и Экибастуза. При сжигании таких углей на ТЭС в выбросах возрастает содержание радия - 226 и свинца - 210, причем последний накапливается в золе. После сжигания угля концентрация свинца - 210 в золе увеличивается в 5 - 10 раз, а радия-226 - в 3-6 раз. На производство 1 кВтч электроэнергии расходуется 300—400 г угля, крупная ТЭС расходует его в год миллионами тонн.

**Нефть (мазут).** Теплоэлектростанции, которые используют в качестве топлива мазут, располагают поближе к центрам нефтеперерабатывающей промышленности. Отдельные ТЭС также расположены в районах добычи нефти. В основном мазут на ТЭС используется как вспомогательное топливо.

При сжигании нефти образуется достаточно большое количество оксидов серы. Особенно высокую сернистость имеют мазуты, вырабатываемые из нефти Волго-Уральского региона; мазуты, получаемые из нефти сибирских месторождений, имеют низкую сернистость. Выход оксидов азота при сжигании мазута больше, чем у газа, но меньше, чем у угля.

При использовании жидкого топлива практически отпадает проблема золоотвалов, которые на угольных ТЭС занимают значительные территории и являются источником постоянных загрязнений атмосферы в районе станции а также близлежащих территорий из-за уноса части золы с ветрами.

Однако в последние годы цены на мазут сильно возросли. Кроме того, как говорил Д. И. Менделеев, сжигать нефть все равно, что топить печи ассигнациями. Сжигание нефти на ТЭС целесообразно только в том случае, если рядом расположен нефтеперегонный завод большой мощности.

*Природный газ.* Доля его потребления в общем объеме энергоресурсов составляет 48% в среднем по миру. В производстве только энергии доля газа достигла 60%.

Природный газ — наиболее экологически чистое из традиционных видов топлива: при его сжигании вообще не выбрасывается твердых веществ, выбросы оксидов серы ничтожны. Оксидов азота при использовании природного газа выбрасывается в 10 раз меньше, чем при сжигании угля и в 1,3 раза — мазута. Именно по этой причине начиная с 80-х годов прошлого столетия на многих ТЭС, находящихся в экологически неблагоприятных местах, наметилась тенденция перевода угля на природный газ, в Беларуси все ТЭС работают на газе.

Помимо перечисленных, при сжигании главных видов топлива выбрасываются и другие весьма вредные вещества (табл. 2.3.).

Таблица 2.3.

Выход вредных соединений при сжигании топлива в топках котлов ТЭС

Вредные соединения	Выход вредных соединений, кг/т		
	нефть, мазут	уголь	природный или промышленный газ
Диоксид серы	14	20	0,39
Триоксид серы	0,7	1	0,031
Сероводород	<0,7	< 1	0,08
Оксид азота	4,9	4	6,55
Синильная кислота	<0,7	< 1	0
Аммиак	0,7	1	0,28
Соляная кислота	<0,7	1	0,28
Формальдегид	0,7	1	0,85
Органические вещества	3,5	10	1,37

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) является крупнейшим загрязнителем окружающей среды: предприятия ТЭКа выбрасывают в атмосферу почти половину всех вредных веществ, электроэнергетика занимает первое место среди всех отраслей хозяйственных комплексов многих стран по объему загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух от стационарных источников, и до 70% общего объема парниковых газов. При этом важно подчеркнуть, что объекты теплоэнергетики размещаются, как правило, либо в городах, либо в их окрестностях, что усиливает отрицательное действие их выбросов.

В то же время в абсолютном выражении выбросы энергетики в последнее десятилетие постепенно уменьшаются. Обвальная остановка объектов промышленности в 1991 — 1995 гг. в странах СНГ и соответственно снижение выработки электроэнергии привели в свою очередь к адекватному (в среднем на 600—800 тыс. т в год) падению валовых выбросов вредных веществ. Ныне оно сменилось плавным (около 300 тыс. т в год) снижением, что объясняется, с одной стороны, постепенным выходом промышленности из кризиса, а с другой, — изменением топливного баланса, и, прежде всего, переходом на природный газ. Это обусловило сокращение удельных и валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Любопытные расчеты, заставляющие о многом задуматься, сделаны профессором А.М. Алпатовым. Их результаты приведены в табл. 2.4. Видно, что по выбросу ряда токсичных металлов (мышьяк, уран, кобальт, кадмий) теплоэнергетика далеко опередила мировое производство.

Таблица 2.4.

## Выделение металлов при сгорании углеродного топлива.

Металл	Мировое производство, тыс. т/год	Поступления от сжигания топлива, тыс. т/год
Мышьяк	40	255
Уран	30	204
Никель	400	357
Кобальт	13	153
Свинец	2800	51
Кадмий	13	2,6
Серебро	8	1

**ТЭС и парниковый эффект.** Известно, что КПД ТЭС, которые дают почти три четверти электроэнергии, не превышает в среднем 36%. У потребителя теряется еще не менее 25% конечной энергии. Следовательно, сегодня полезно расходуется лишь около одной пятой энергии, заложенной в природных энергетических ресурсах. Таким образом, при получении одной полезной (работающей) калории тепла 3—4 калории тепла сбрасывается в окружающую среду с водой или воздухом, охлаждающим аппаратуру электростанций. Например, только с дымовыми газами, поступающими в атмосферу, уходит до 10% энергии, заключенной в исходном топливе. Поэтому часть энергии тепловых электростанций добавляется к теплу, обусловленному солнечной радиацией, и вносит заметный вклад в тепловое загрязнение планеты. Согласно расчетам российских и американских геофизиков, безопасный предел использования добавляющей энергии составляет около 0,1 % от солнечной энергии, приходящей на Землю, т. е. это четкий экологический предел роста добавляющей энергетики, развития традиционных видов ее производства.

Считается, что одним из важнейших парниковых газов является диоксид углерода. При окислении 1 т чистого углерода в атмосферу поступает почти 3,7 т  $\text{CO}_2$ . В конце XIX в. содержание  $\text{CO}_2$  составило 0,029% от общего объема атмосферы. В последние сто лет за счет сжигания топлива в

атмосферу поступило свыше 400 млрд т  $\text{CO}_2$ . По масштабам продуцируемого  $\text{CO}_2$  процесс сведения лесов и сжигания топлива примерно равны. Все это вместе взятое привело к тому, что поступление диоксида углерода в атмосферу стало превышать его потребление растениями. В целом концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере увеличилась за последнее столетие на 15%. Среднегодовой прирост за последнее десятилетие составляет около 1,3%, или почти 300 млн. т в год. Особенно быстро растет концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере крупных городов.

**Истощение планетарного кислорода.** Увеличение сжигания топлива сопровождается все большим расходом кислорода. До середины XIX в. его содержание в атмосфере оставалось более или менее постоянным. Поглощение кислорода в естественных окислительных процессах компенсировалось фотосинтезом. Поглощая из воздуха 55 млрд т кислорода, Мировой океан выделяет в атмосферу 61 млрд т. В результате воздушная оболочка Земли получает ежегодно из океана 6 млрд т кислорода. Ныне этот баланс нарушен главным образом процессами сжигания топлива. Особенно много кислорода потребляют развитые промышленные страны. США, где проживает лишь 5% населения мира, потребляют свыше 30% общемирового производства энергии. В результате такого энергетического изобилия в США расходуется больше кислорода, чем его производит растительность страны. Таким образом, уровень общего благосостояния этой ведущей индустриальной державы строится, в конечном итоге, в значительной мере на потреблении кислорода, продуцируемого вне территории США. За весь период человеческой деятельности безвозвратно израсходовано на процессы горения 273 млрд т кислорода, в том числе за последние 50 лет — 246 млрд т. Проблема кислородного голодания может обостриться ко второй половине XXI в., если основным источником энергии по-прежнему будет служить ископаемое топливо.

**Выбросы кислых газов и золы.** При соединении оксидов серы с водой из воздуха образуются капельки серной и сернистой кислот. Их растворы могут долгое время держаться в воздухе в виде плавающих капелек тумана или выпадать вместе с дождем и снегом.

Выпадение кислых осадков сопровождается подкислением водоемов и почвы, что приводит к гибели водных организмов, деградации почвенной фауны, ухудшению состояния лесов и их усыханию. В результате подкисления почвы снижаются урожаи, ухудшается качество сельскохозяйственной продукции. Кислотные дожди и туманы разъедают металлы, краски, синтетические соединения, ткани, сокращают сроки и ухудшают условия хранения продуктов питания и т. д.

В то же время, по мнению ученых, диоксид серы, поступающий в атмосферу, является своего рода глобальным фактором, в определенной степени компенсирующим парниковый эффект. Диоксид серы, превращающийся после химических преобразований в ядра конденсации, способствует повышению тем самым плотности и отражательной способности верхней границы облачности, что уменьшает поступление

солнечного тепла в атмосферу и, соответственно, понижает ее температуру. Отсюда парадокс: предотвращение попадания в атмосферу кислых газов и соответственно избавление от кислотных дождей и их последствий может привести к углублению парникового эффекта. Все это говорит о сложнейшей взаимосвязанности процессов, происходящих в природе («Все связано со всем!»).

Остро стоит проблема выбросов золы. Зола - окисленные в результате горения пылевидные частицы осадочных пород земли (песок, глинозем и др.), включенные в уголь, содержит разнообразные металлы и естественные радионуклиды. При сжигании угля зола несет в своем составе больше металлов, чем их добывается из недр Земли, например, магния в 1,5 раза, молибдена - в 3 раза, урана и титана - в 10, алюминия, йода и кобальта - в 15, ртути - в 50 раз. ванадия, стронция, бериллия, циркония - в сотни раз, галлия и германия - в тысячу раз. Даже зола экологически более чистого топлива - мазута - содержит большое количество веществ наиболее опасных классов.

Сжигание органического топлива, приводящее к выбросу огромных количеств летучей золы, сопровождается ростом запыленности атмосферы, что влечет за собой снижение уровня солнечной радиации на земной поверхности.

Мощными загрязнителями окружающей среды становятся золошлаковые отвалы и сточные воды ТЭС. Сейчас выход золы и шлака только в России на ТЭС превышает 100 млн т в год; под золоотвалы отчуждено более 300 км<sup>2</sup> земель, часто наиболее плодородных. Всего объектами теплоэнергетики в отвалах накоплено 1,2 млрд т золошлаков. Многочисленные золошлакоотвалы являются источниками загрязнения подземных вод.

**Химическое и тепловое загрязнение водоемов.** Электроэнергетика потребляет до 70% от общепромышленного объема водопотребления и 20% всего объема водопотребления в стране.

Со сточными водами в водные объекты сбрасываются загрязняющие вещества, нефтепродукты, хлориды, сульфаты, соли тяжелых металлов, специфические вещества (сероводород, капролактамы, формальдегид).

Кроме химического, энергетические установки способствуют тепловому загрязнению водоемов. ТЭС производят энергию при помощи турбин, приводимых в движение нагретым паром. При их работе необходимо охлаждать водой отработанный пар. Для охлаждения турбин угольных ТЭС тратится до 60% энергии, содержащейся в топливе. Поэтому от станции непрерывно отходит поток воды, подогретой обычно на 8—12°C (от входящей) и сбрасываемой в водоем.

Крупные ТЭС нуждаются в больших объемах холодной воды и сбрасывают в подогретом состоянии 80—90 м<sup>3</sup>/с воды. Это означает, что в природные водоемы поступает поток теплой воды, способный поднять температуру воды в летнее время от 20 до 30°C (водоем-охладитель Березовской ГРЭС).

Вследствие повышения температуры в водоеме и вызванного этим нарушения их естественного гидротермического режима ускоряются процессы «цветения» воды (из-за развития синезеленых водорослей), уменьшается растворимость газов в воде (что особенно опасно для гидробионтов-рыб), меняются физические свойства воды, ускоряются все химические и биологические процессы, протекающие в ней, и т. д. В зоне подогрева снижается прозрачность воды, увеличивается рН, возрастает скорость разложения легко окисляющихся веществ. Скорость фотосинтеза в такой воде заметно понижается. Восприимчивость живых организмов к токсичным веществам с повышением температуры воды обычно увеличивается.

Крупные ТЭС занимают значительные площади, часто 2—3 км<sup>2</sup> и более. Кроме того, большие пространства (иногда 10 и более км<sup>2</sup>) уходят на размещение шлаков и золоотвалов. На таких землях изменяется рельеф, характер почвенно-растительного покрова, нарушается сток и его состав, что крайне отрицательно влияет на качество сельскохозяйственной продукции расположенных поблизости хозяйств.

**Мероприятия по снижению загрязнения водоемов сточными водами ТЭС.** Снижение отрицательного влияния ТЭС на водоемы осуществляются следующими основными путями: очисткой сточных вод перед их сбросом в водоемы, организацией надлежащего контроля; уменьшением количества сточных вод вплоть до создания (в перспективе) практически бессточных электростанций; использованием сточных вод в цикле самой ТЭС; усовершенствованием технологии ТЭС; комплексным использованием тепловых ресурсов ТЭС.

Методы очистки сточных вод, нашедшие применение на различных энергетических установках, станциях и теплоцентралях, подразделяются на механические, физико-химические, химические и биологические. Их описание дано в главе 8 пособия.

Для снижения сбросов от химических промывок используют, например, замену воды паром или паровоздушной смесью, применяют аппараты для удаления грубодисперсных и коллоидных примесей (электромагнитные фильтры) и растворенных примесей (ионные фильтры), «щиту от коррозии поверхности нагрева специальными методами обработки металла.

Основным способом уменьшения сброса вод из золоотвалов является перевод систем гидрозолоулавливания на оборотный цикл, когда осветленная на золоотвале вода возвращается на электростанцию для повторного использования. В настоящее время газомазутные ТЭС мощностью более 100 МВт оборудованы системой нейтрализации обмывочных вод регенеративных воздухоподогревателей и извлечения ванадийсодержащего шлака; установки по очистке нефтесодержащих стоков имеют все станции.

## **2.5. Гидроэнергетика и ее воздействие на природную среду**

**Гидроэлектростанции: достоинства и экологические проблемы.** Страны СНГ обладают огромными гидроэнергоресурсами, которые оцениваются в 3,94 трлн кВтч/год, из них экономический потенциал составляет 1,09 трлн к

Вт·ч/год. К настоящему времени гидропотенциал Беларуси освоен примерно на 20%.

Роль этого вида производства энергии очень велика: выработка электроэнергии на ГЭС обходится относительно дешево; ГЭС незаменимы для моментального покрытия пиковых нагрузок в энергосистемах. Их работа не вызывает химического загрязнения природной среды, водохранилища ГЭС можно использовать для орошения, рыболовства, судоходства, водоснабжения, в рекреационных целях. Гидроузлы ликвидировали во многих районах опасность весенних наводнений.

В то же время с эксплуатацией ГЭС связано много сложных экологических проблем.

1. Под водохранилища ГЭС отчуждаются большие площади земель, в т. ч. лучших в сельскохозяйственном отношении. Водоохранилища в Беларуси сооружены в условиях равнин; используемые на ГЭС напоры достигают 5-10 м, а площадь зеркала акваторий — десятков км<sup>2</sup>. В этих условиях удельная плотность затопления составляет от 2 до 5 км<sup>2</sup> на каждую тысячу кВт установленной мощности ГЭС. Подготовка ложа Вилейского водохранилища велась поспешно, с нарушением экологических требований. Из-за того, что полная вырубка лесов ложа могла отодвинуть сроки ввода Минско-Вилейской системы на несколько лет, она была признана нецелесообразной и поэтому не проводилась.

2. Крупные водохранилища оказывают заметное влияние на локальные климатические условия. Зимой устанавливаются густые холодные туманы, что вызвано сбросом через турбины относительно теплых донных вод водохранилища. На обширных пространствах крупных водоемов нередко возникают сильные ветры, вызывающие волнение воды и штормы.

3. Крупные гидроэнергетические сооружения в потенциале несут в себе опасность крупных катастроф. Ежегодно в мире происходит более трех тысяч аварий на различных плотинах, из них каждая седьмая — в странах СНГ. При аварийном разрушении плотины возникает так называемая волна прорыва, которая затопливает огромные территории и приносит большой материальный и экологический ущерб. Критерий остроты масштабов последствий зависит от высоты волны прорыва, от того, насколько она превышает максимальную высоту в створе плотины, а также от времени добегания гребня волны прорыва. Особенно большая потенциальная опасность существует для рек, на которых сооружены каскады гидроэлектростанций. И в то же время катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС показала, что существует проблема профилактического технического обслуживания таких крупных объектов.

4. Образующиеся водохранилища на равнинных реках существенно замедляют скорость обмена вод. Так, до зарегулирования Волги полный обмен воды в реке осуществлялся за 30—40 дней, а после создания каскада водохранилищ на это требуется в 4—5 раз больше времени. Потому санитарное состояние водоемов ухудшается из-за снижения интенсивности паводков и половодий.

5. Плотины ГЭС преграждают путь на нерест проходным рыбам, резко ухудшают состояние нерестилищ, поскольку снижение скорости воды способствует заилению. Как следствие, резко уменьшилось количество рыб ценных промысловых пород. Многолетние наблюдения говорят о том, что количество рыбы, уничтожаемой на водозаборах ГЭС, многократно превышает то, что дают все рыбные предприятия страны. Для борьбы с указанными явлениями на современных плотинах строятся дорогостоящие рыбопроходы и рыбоподъемники, создаются искусственные нерестилища.

**Перспективы малой гидроэнергетики.** Малые гидроэлектростанции практически не изменяют природные условия, не затапливают большие земельные площади и даже снижают пики половодья, улучшают водообмен и аэрацию. МиниГЭС, как считают специалисты, могут служить надежным маневренным резервом и промышленных предприятий. Небольшие плотины на реках не столько нарушают, сколько оптимизируют гидрологический режим рек и прилегающих территорий.

Их можно рассматривать как пример экологически обусловленного природопользования, мягкого вмешательства в природные процессы. Водохранилища, создававшиеся на малых реках, обычно не выходили за пределы русел. Они гасят колебания воды в реках и стабилизируют уровни грунтовых вод под прилегающими пойменными землями. Это благоприятно сказывается на продуктивности и устойчивости как водных, так и пойменных экосистем. Имеются расчеты, что на мелких и средних (длиной от 10 до 200 км) реках, которых в Беларуси более 10 тысяч, можно получать не меньше энергии, чем на современных крупных ГЭС. Созданы турбины, позволяющие получать энергию, используя естественное течение рек без строительства плотин. Такие турбины легко монтируются на реках и при необходимости перемещаются в другие места. Хотя стоимость получаемой на таких установках энергии заметно выше, чем на крупных ГЭС, ГЭС или АЭС, но высокая экологичность делает целесообразным ее выработку.

## Глава 3. Радиационная экология

### 3.1. Ядерная энергетика

Радиационная обстановка на Земле за последние 60-70 лет подверглась существенным изменениям: к началу Второй мировой войны во всех странах мира имелось около 10-12 г полученного в чистом виде естественного радиоактивного вещества - радия. В наши дни один ядерный реактор средней мощности производит 10 т искусственных радиоактивных веществ, большая часть которых, правда, относится к короткоживущим изотопам, имеющим период полураспада от нескольких долей секунды до нескольких часов или дней. После выработки ядерного топлива реакторами АЭС, подводных и надводных кораблей, научно-исследовательских центров остаются сотни тонн радиоактивных отходов, требующих утилизации. Радиоактивные вещества и источники ионизирующего излучения используются практически во всех отраслях промышленности, в здравоохранении, при проведении самых разнообразных научных исследований. Все это накладывается на изменения в естественной природной среде нашей планеты, возникшие за годы испытаний ядерного оружия.

В течение почти 40 лет ядерных испытаний на Земле происходило накопление радиоактивности. В биосферу было выброшено 12,5 т продуктов деления. Взрывы изменили равновесное содержание в атмосфере углерода-14 на 2,6 %, трития почти в 100 раз. К концу испытаний ядерного оружия в атмосфере радиоактивное загрязнение на поверхности Земли на 2 % превысило естественный фон. Еще больше нарастает уровень радиации в результате аварий, производства и удаления радиоактивных отходов. Так, авария на Чернобыльской АЭС привела к выбросу в биосферу до 15 т радиоактивных веществ, что равно или даже превышает выброс за все годы испытаний атомного оружия в атмосфере. В результате радиоактивная загрязненность отмечена во многих странах, но особенно велика она на ряде территорий Украины, Беларуси и России.

В результате аварий сегодня на дне Мирового океана находятся шесть атомных подводных лодок с девятью атомными реакторами и 50 ядерными боеголовками. С целью захоронения радиоактивных отходов только США с 1946 по 1970 гг. сбросили в океан более 86 тыс. контейнеров суммарной радиоактивностью около 95 кКи. Захоронение радиоактивных отходов в море проводили Бельгия, Великобритания, Нидерланды, Швейцария, Франция, Италия, Германия, Швеция, СССР. Все это представляет огромную потенциальную экологическую опасность.

Ядерные и, прежде всего, военные источники энергии, особенно в период наземных ядерных испытаний, ядерно-энергетических аварий (общее число которых более 150), несмотря на меньшую степень опасности вредного воздействия на население по сравнению с химическими факторами загрязнения среды и малую вероятность деформации атмосферы, гидросферы, почв, климата, растительного и животного мира, вызывают серьезную тревогу экологов. Даже при незначительных, по принятым критериям и накопленному опыту оценок (Хиросима-Нагасаки, Три-Майл-

Айленд), размерах радиоактивных загрязнений, спектры и энергия излучений от источников ядерного происхождения, характер их метаболизма в почвах, растительности, организмах значительно отличается от метаболизма естественных излучателей ряда ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ). Такая биологическая и экосистемная новизна факторов выявляет при длительных хронических воздействиях на экосистемы и ее составляющие, в том числе обширные группы населения, ряд ранее не известных эффектов. Новизна таких открытий ведет порой к паническим заключениям, резко усиленным «чернобыльским синдромом» страха радиационных аварий. Размеры вреда, наносимого радиационным фактором ядерно-энергетического происхождения, превосходят, вероятно, последствия всей суммы техногенных дорадиационных воздействий среды.

Основателем радиационной экологии как науки следует признать российского ученого Н. В. Тимофеева-Ресовского, который в 1955 г. впервые выявил воздействие радиационных факторов на расщепление эволюционно согласованных внутрибиоценозных межвидовых взаимодействий.

За более чем 100 лет изучения радиоактивных веществ и источников ионизирующих излучений и их влияния на живые организмы, включая человека, претерпели изменения отдельные принципы, подходы, исключались ранее используемые и вводились новые единицы измерения радиоактивности и доз излучения. Вместе с тем указанные изменения затрудняют сопоставление ранее полученных и современных данных по изучаемым вопросам, прежде всего, из-за выражения их в разных единицах. В табл. 3.1. приведена связь между системными (СИ) и внесистемными единицами радиоактивного излучения.

Таблица 3.1.

Связь между некоторыми системными (СИ) и внесистемными единицами

Характеристика излучения	Единица (СИ)	Внесистемная единица	Связь между единицами
Активность	Беккерель (Бк)=1 распад/с	Кюри (Ки)	1 Ки=3,7·10 <sup>10</sup> Бк
Доза:			
Экспозиционная	Кулон на килограмм (Кл/кг)	Рентген (Р)	1Р=2,58·10 <sup>-4</sup> Кл/кг
Поглощенная	Грей (Гр)=0,01 Дж/кг	Рад	1 рад=0,01 Гр
Эквивалентная	Зиверт (Зв)	Бэр	1 Бэр=0,01 Зв

### 3.2. Радиационный экологический контроль

Естественные и искусственные радиоактивные вещества равномерно распределены в окружающей среде (за исключением аномальных геологических и промышленных районов повышенной радиоактивности) и являются ее активными метаболитами. Началом такого метаболизма служат реакции испускаемых радиоактивными веществами ионизирующих

излучений, протекающих по типу фотоэффекта: возбуждение электронных оболочек атомов при незначительной доле ионизации облучаемого вещества.

**Ионизация** - обязательная составляющая взаимодействия с веществом всех видов частиц и фотонов (в том числе видимого ультрафиолетового спектров излучений) ведет к кратковременным изменениям структуры валентных оболочек атомов, высвобождению и выходу в межмолекулярную среду «энергетической валюты обмена» свободных электронов, что, кроме активации процессов, инициирует случайную сшивку молекул и является фактором формирования новых биологических структур (эволюции биологического вещества, мутации генов). Доля таких взаимодействий в процессе передачи энергии фотонов (частиц) веществу растет с ростом энергии излучений, характерных для начального периода становления биосферы, а в настоящее время - для ряда антропогенных излучателей среды.

**Естественный радиационный фон Земли** складывается из излучений от рассеянных в почве, воде, воздухе радионуклидов, возраст которых совпадает с возрастом планеты. К таким радионуклидам относятся калий-40 ( $^{40}\text{K}$ ), уран-238 ( $^{238}\text{U}$ ), торий-232 ( $^{232}\text{Th}$ ) и продукты распада тория и урана, радона ( $^{219-282}\text{Rn}$ ), радия ( $^{226}\text{Ra}$ ). Второе место в формировании радиационного фона занимают космические излучения, третье - короткоживущие радионуклиды, образующиеся в верхних слоях атмосферы при взаимодействии газов стратосферы с потоком ядерных частиц высоких энергий, из разных областей Вселенной.

Первичным геологическим источником большинства радионуклидов естественного фона являются верхние слои литосферы (граниты, сланцы, песчаники и др.), постоянное преобразование которых под воздействием сапрофитной микрофлоры почвы, воды, воздуха, перепадов температур ведет к миграции излучателей в почву, растительность, животный мир (табл. 3.2.).

Таблица 3.2.

Первичные источники основных радионуклидов естественного радиационного фона

Порода литосферы и тип почвы	Концентрация, нКи/г (Бк/г), радионуклидов		
	$^{40}\text{K}$	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$
Граниты	27 (0,999)	1,6 (0,054)	2,2 (0,00081)
Сланцы	19 (0,703)	1,2 (0,00044)	1,2 (0,000044)
Песчаники	10 (0,57)	0,5 (0,00002)	0,3 (0,00001)
Известняки	2,4 (0,888)	0,75 (0,0028)	0,19 (0,000019)
Сероземы	18 (0,66)	0,85 (0,031)	1,3 (0,048)
Черноземы	11 (0,41)	0,58 (0,021)	0,97 (0,036)
Серые лесные	10 (0,37)	0,48 (0,017)	0,72 (0,027)
Подзолистые	4 (0,15)	0,24 (0,009)	0,33 (0,012)
Усредненные данные по литосфере	10 (0,37)	0,7 (0,026)	0,7 (0,026)
Типичный диапазон колебаний	3-20 (0,01-0,74)	0,3-1,4 (0,007-0,054)	0,2-1,3 (0,007-0,054)

Ведущим радионуклидом фона, определяющим радиоактивность растений и животных, уже по содержанию его в экосистемах, является калий-40 ( $^{40}\text{K}$ ) - металл, быстро реагирующий с кислородом, водой. Содержание радиоактивного калия в природной смеси изотопов ( $^{39}\text{K}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{41}\text{K}$ ) постоянно, независимо от звеньев миграции и составляет 0,0118 мас. %.

Основными накопителями  $^{40}\text{K}$  в организме являются, в убывающем порядке, эритроциты, нервная ткань (головной мозг), мышечная ткань, печень, легкие, кости. Изотоп  $^{40}\text{K}$  не накапливается: время двукратного снижения его активности в организме от момента поступления за счет процессов распада и выведения равно 58 сут. Из организма взрослого человека  $^{40}\text{K}$  выводится в три раза медленнее, чем вода. Средняя мощность поглощенной дозы  $^{40}\text{K}$  составляет 170-190 мкГр (17 -19 мрад/год). Содержание калия-40 и урана-226 в пищевых продуктах приводится в табл. 3.3.

Содержание  $^{40}\text{K}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в основных пищевых продуктах

Продукт	$^{40}\text{K}$ , иКи/г (Бк/кг)	$^{226}\text{Ra}$ , пКи /г (Бк/кг)
Хлеб:		
Черный	1,8 (66,6)	2,6 (0,096)
Белый	0,8 (29,6)	2,5 (0,092)
Картофель	2,9 (107,3)	9,6 (0,35)
Капуста	2,2 (81,4)	1,7 (0,06)
Молоко	1,2 (44,4)	0,3 (0,01)
Говядина	2,7 (99,9)	0,1 (0,03)
Свинина	2,0 (74,0)	1,5 (0,05)
Сельдь	2,1 (77,7)	3,4 ( 0,12)
Треска	2,3 (103,6)	4,0 ( 0,15)
Яйца, 10 шт.		1,5 (0,05)
Масло	0,1 (3,7)	0,3 (0,01)

Вторым, широко распространенным в земной коре, почве и дальнейших звеньях миграции радионуклидом фона является уран-239 (в смеси с незначительным количеством  $^{235}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}$ ) - кальцийподобный белый серебристый металл, реагирующий с воздухом, водяными парами, кислотами, но не щелочами. В среде, как и кальций, встречается в минералах, с наибольшим содержанием в уранитах, кариотипах. Энергия распада невелика (1- 1360 эВ), общее содержание урана в верхних (подпочвенных) слоях земной коры составляет примерно 1015 т ( $2,4 \cdot 10^{-4}\%$ ), в морской воде 1010 т ( $3,13 \cdot 10^{-7}\%$ ). Фоновая удельная радиоактивность урана в среде составляет 0,33 мКи вещества.

Суточное поступление урана в организм человека колеблется в среднем от 1 до 10 мкг, достигая 300 мкг. Содержание урана в мягких тканях человека на территориях с нормальным радиационным фоном Земли чрезвычайно незначительно и составляет 0,63 – 0,99 нКи/кг и 0,7-8;9 нКи/г в костях.

Значительно большую роль в формировании фоновых лучевых нагрузок выполняет дочерний продукт распада  $^{238}\text{U}$  - радий, отличающийся от урана большей химической активностью и соответственно большей подвижностью в звеньях миграции в среде. В отличие от  $^{239}\text{U}$  дочерний

продукт распада находится вне кристаллической решетки исходных минералов и легко переходит в воду. Наибольшее количество естественного излучателя характерно для воды с высоким природным содержанием в ней «родственных» элементов: кальция, стронция, бария.

*Радий (Ra)* - блестящий серебристый металл, быстро реагирующий с воздухом (кислородом), водой. Образует растворимые хлориды, бромиды, сульфиды, иодиды, а также ряд нерастворимых соединений (карбонатов, сульфидов, оксалатов). Все изотопы радия радиоактивны. Наиболее распространён долгоживущий изотоп с периодом полураспада 1620 лет. Соль чистого радия является  $\alpha$ -излучателем. При накоплении в ней продуктов распада - радона (Rn), актиния (Ac) соль радия становится источником  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучений. Энергия  $\alpha$ -частиц велика: 4,6-4,7 МэВ. Энергия  $\beta$ -частиц значительно ниже.

Радиоактивность радия в осадочных и вулканических породах подпочвенных слоев земной коры колеблется от 0,5 до 1,3 пКи/г (при максимальных регистрируемых значениях 60 пКи/л). Удельная активность большинства почв 1 пКи/г ( $1 \cdot 10^{-10}$  мас. %), питьевой воды - 0,01-6 пКи/г, воды океана - 0,007 пКи/г. Наибольшие содержания радия, поступающие в организм человека с продуктами питания, пКи/год: с куриными яйцами -- до 91, с картофелем - до 110, с мясом домашней птицы -- до 15.

*Радиоактивный торий* ( $^{227}\text{Th}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ), как и предшествовавшие  $\alpha$ -излучатели, серебристый металл, активно взаимодействующий с кислородом, водяным паром и плохо - с кислотами. Широко распространен в горных породах (торианите, торите) и, как следствие естественного разрушения кристаллических решеток, - в почвах. Вследствие плохой растворимости в воде в растения поступает в незначительных количествах. Все изотопы являются мощными (5 МэВ)  $\alpha$ -излучателями. Длина пробега  $\alpha$ -частиц в воздухе достигает 5 см. Соединения радионуклида в организм поступают в незначительных количествах.

*Радон ( $^{222}\text{Rn}$ ) и торон ( $^{220}\text{Tl}$ )* - бесцветные, не имеющие вкуса и запаха газы - короткоживущие звенья естественных радиоактивных распадов радия, тория. В описаниях они чаще объединены под общим названием радон, в воздушную среду эмануруют (попадают) из минералов, содержащих ураниты, карнотиты, ториты.

Эмануруя, эти газы вследствие высокой удельной массы (в 7,5 раз тяжелее воздуха) «стекают» по поверхности материалов, накапливаясь в ложбинах, погребах, подвалах, ванных комнатах, первых этажах домов; в реакции обмена среды (биологические цепочки) вследствие химической инертности (отнесены к разряду ксенона) не вступают; в растительных и животных тканях отсутствуют; в воздухоносные пути, легкие проникают с воздухом, предварительно сорбируясь на мелкодисперсных частицах бытовой пыли (75 % на аэрозолях диаметром от 5 до 25 нм).

Газы являются мощными  $\alpha$ -излучателями (до 5 МэВ), формирующими лучевые нагрузки на эпителий слизистых носоглотки, трахеи, бронхов, альвеол. Размеры поступления изотопов в организм чрезвычайно варьируют

в зависимости от географии места жительства, его высоты относительно нулевых значений рельефа местности, этажности дома, характера строительных материалов.

Максимальные лучевые нагрузки (на легкие) формируются в странах с длительным холодным периодом и вынужденным резким снижением вентиляции помещений. Внутри помещений максимальные концентрации газов накапливаются в ваннных комнатах (вследствие водо-, газонепроницаемости пола, стен), в 40 -50 раз превышая средние значения (сжигание газа, содержащего, как правило, изотопы), комнатах квартир первых этажей (в 15-20 раз выше средних значений) (табл. 3.4.). Превышение средних значений фоновой радиоактивности газов (от 1 до 10 кБк/м<sup>3</sup>) регистрируется в домах, построенных без предварительного радиационного контроля материалов (преимущественно шлакобетон, ряда сортов красного кирпича, панелей). Доля такого радиационно опасного жилья достигает 0,1 %, преимущественно в странах Севера.

Таблица 3.4.

Концентрация радона в воздушной среде, Бк/м<sup>3</sup>

Страна	Приземный слой открытого воздуха	Воздух квартир*	Накапливаемая доза, мкЗв
Франция	$22,1 \cdot 10^{-2}$	4,8-13	300
Россия	$0,2 \cdot 10^{-2}$	6-17	400-1000
США	$0,1 \cdot 10^{-2}$	17	Нет сведений
Аляска	$0,01 \cdot 10^{-2}$	Нет сведений	400
Швеция	Нет сведений	То же	3700

\*кроме 1 этажа, где радиоактивность превышает приведенные значения в 15-20 раз

Содержание радона в воде охарактеризовано в таблице 3.5.

Таблица 3.5.

Концентрация радона в воде, кБк/м<sup>3</sup>

Источник	Страна	Район	Концентрация
Моря и океаны	-	-	$10^{-3}$
Реки	-	-	7,4-11,1
Питьевая вода	Австрия	Зальцбург	1,5-7
		Багстайн	3700
	Финляндия	Хельсинки	1200
		Другие районы	280-45000
	Италия	-	80
	Швеция	-	19-150
	США	Штат Мэн	660-5800
Штат Сев.Каролина		100-1700	
	Великобритания	Нет сведений	7,4-481
Источники и буровые скважины	Франция	Нет сведений	<3700
	Япония	Нет сведений	<25900
	США	Нет сведений	<11100

Радиоактивный изотоп углерода (<sup>14</sup>C). Расчетное суммарное количество углерода в биосфере составляет 8,5 ЭБк (Экса =  $1 \cdot 10^{18}$ ), при этом в

атмосфере содержится 1,6 %, в почвах - 4, в верхних слоях океана 2,2, в глубинных 92, в донных отложениях 0,2 %. Углерод является наиболее активным метаболитом среды, всасывается в растения непосредственно из воздуха в составе углекислого газа. В организм человека поступает с пищей, водой (99 %), воздухом ( $\leq 1$  %). Коэффициент усвояемости углерода равен 1. Средняя удельная активность органических структур (в том числе и продуктов питания) составляет 230 Бк/кг.

### ***Внешние и космические радиационные воздействия.***

*Внешние радиационные воздействия*, дополняющие стабильный спектр внутреннего облучения, складываются из излучений космических, фотонных и корпускулярных (преимущественно нейтронных), а также от естественных радиоактивных  $\gamma$ -излучателей вне организма (стены жилья, скопившиеся инертные газы, почва).

*Космические излучения*, благодаря уникальной, сложившейся за миллионы лет структуре атмосферы, являются видоизмененными первичным галактическим (93 %) и солнечным потоками частиц высоких энергий. Энергия потока частиц галактического происхождения, преимущественно протонов, составляет в среднем 100 МэВ, достигая 1014 МэВ, солнечного - 20 МэВ. Помимо протонов, большая часть которых огибает Землю благодаря ее магнитным полям (защитная функция которых зависит от широты, снижаясь к полюсам и возрастая к экватору), в состав первичного космического излучения входят протонно-нейтронные обломки ядер с атомными номерами 3-5, 10-19, 20.

***Техногенное вмешательство в состав естественного радиационного фона.*** Искусственная (глобальная) концентрация фоновых радионуклидов при добыче и сжигании топлив, переработке руд, производстве и использовании строительных материалов резко меняет фоновое распределение радиоактивности среды. Наиболее массивны загрязнения такого типа калием ( $^{40}\text{K}$ ), ураном ( $^{238}\text{U}$ ), торием ( $^{232}\text{Th}$ ) от тепловых электростанций: сжигание многозольного угля сопровождается последующим взбросом сконцентрированных радионуклидов в атмосферу.

Среднее содержание радионуклидов в угле принято равным 50, 20 и 10 Бк/кг соответственно для калия ( $^{40}\text{K}$ ), урана ( $^{238}\text{U}$ ), тория ( $^{232}\text{Th}$ ). В реальных топливах концентрация излучателей достигает 320 - 520 Бк/кг (по урану). На планете ежегодно сжигается 3700 Мт угля, что вносит около 0,02 % в естественные лучевые нагрузки на население планеты в целом при преимущественном облучении жителей городов средних и северных широт. Сжигание жидких (углеводородных) топлив в двигателях внутреннего сгорания значительно дополняет аэрозольный состав воздуха городов  $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ .

Достаточно большой является также радиационная агрессивность нитрофоса, фосфата аммония, фосфоритной муки и других удобрений, активность которых превышает 50 Бк/кг при максимальном участии в формировании доз от  $\alpha$ -излучателей, радионуклидов с максимальной биологической эффективностью.

Помимо глобальных видоизмененных радиационных воздействий определенным вклад в дополнительные экосистемных лучевые нагрузки вносят металлургические предприятия, расположенные практически во всех крупных индустриальных городах многих развитых стран.

К *собственно техногенным* экологически новейшим излучателям от начальных почвенных каналов экосистемой миграции, клеточных мембран до популяционного распределения доз, меняющим энергетические спектры и распределение радиационного фактора, относятся радионуклиды ядерно-энергетического происхождения. Основными источниками равномерного (фонового) включения искусственной радиоактивности в состав среды, завершившими переход фактора лабораторной случайности в разряд современных экосистемных воздействий, явились испытания ядерного оружия, послужившие причиной относительно равномерного рассеивания радионуклидов (радиоактивных осадков) в Северном полушарии планеты. В период с 1945 по 1991 г. общее число ядерных взрывов на нашей планете составило 2059, в том числе 508 в атмосфере. Наибольшее количество таких взрывов, соответственно 1085 и 205, произведено в США. На втором месте Россия (СССР) - 715 и 215. Франция осуществила 182 взрыва (45 в атмосфере). Великобритания и Китай - соответственно 42 и 35 (21 и 22 в атмосфере).

После принятия моратория на проведение испытаний ядерного оружия отдельные взрывы были осуществлены в Индии и Пакистане - странах, не присоединившихся к мораторию.

Второе место по радионуклидному загрязнению занимают ядерные реакторы энергетического назначения, вырабатывающие до 30 % электроэнергии мира, и исследовательские реакторы, относительно равномерно рассредоточенные в странах Северной Америки, Азии, Европы. В настоящее время в мире функционируют более 500 ядерно-энергетических блоков АЭС, из которых 163 - в странах Западной Европы, 121 - в США и 45 - в России.

Расчеты показывают, что суммарная активность среды от АЭС, равномерно распределенная на Евразийском и Американских континентах, при нормальном 10-летнем режиме работ действующих ядерных энергетических установок будет равна относительно локальному загрязнению среды от Чернобыльской АЭС. Газо-аэрозольные выбросы дополняются жидкими и твердыми отходами энергетических циклов АЭС, требующими последующего захоронения. Суммарное накопленное количество таких отходов только в России достигает 200 тыс. м<sup>3</sup>. Захоронение таких излучателей без риска последующего включения в состав и метаболизм экосистем представляет серьезную, не решенную окончательно проблему.

Основными долгоживущими радионуклидами, входящими в состав наиболее массивных радиоактивных загрязнений среды ядерно-энергетического происхождения, независимо от разновидностей источников, являются цезий (<sup>137</sup>Cs), стронций (<sup>90</sup>Sr), с крайне незначительным вкладом плутония (<sup>239</sup>Pu и <sup>240</sup>Pu). Скорость распада этих радионуклидов значительно

ниже скорости их накопления в среде, что при современных системах защиты и нормах выброса радионуклидов в среду ведет к накоплению излучателей в экосистемах.

*Цезий* ( $^{137}\text{Cs}$ ) - блестящий золотистый мягкий металл, бурно взаимодействующий, взрываясь, с кислородом и водой, по химическим свойствам близкий к калию. Содержание стабильного изотопа ( $^{133}\text{Cs}$ ) в среде крайне незначительно ( $3 \cdot 10^{-6}\%$  в земной коре, костной ткани человека и животных и  $3 \cdot 10^{-8}\%$  в морской воде). В среде до становления ядерной энергетики радиоактивен изотоп отсутствовал полностью. Естественных биологических функций не несет. Наибольшее радиационно-экологическое значение имеет  $^{137}\text{Cs}$  суммарный выброс которого от АЭС мира в 2000 г. составлял  $22,2 \cdot 10^9$  Бк в год (во время аварии на ЧАЭС выброс этого изотопа составил  $22,9 \cdot 10^2$  Ки); образуется при делении ядер урана, плутония в ядерных реакторах, при ядерных взрывах; используется (выделяясь из осколочных продуктов АЭС) как излучатель в медицине, металлургии, сельском хозяйстве; в настоящее время (в незначительных количествах) обнаруживается во всех объектах внешней среды.

Изотопы цезия при любом поступлении в организм полностью включаются в метаболизм, конкурируя с калием, в том числе и  $^{40}\text{K}$ . Скорость миграции в организме в 25 раз меньшая, что при более жестком  $\gamma$ -излучении изотопа ведет к формированию больших (по сравнению с  $^{40}\text{K}$ ) микролокальных (мембранных) лучевых нагрузок. В организме в отличие от естественного аналога миграция накапливается до предела насыщения, превышающего величину ежедневного поступления в 30 раз. Содержание в организме жителей с современной фоновой загрязненностью среды составляет (по расчетам) 0,4-0,5 Бк/кг, но при стотысячекратном росте в группах населения территорий, прилегающих к АЭС, пострадавших от радиационных аварий.

*Стронций* ( $^{90}\text{Sr}$ ) - серебристый кальциеподобный металл, покрытый оксидной оболочкой, плохо вступает в реакции, включаясь в метаболизм экосистем по мере формирования сложных Ca-Fe-Al-Sr-комплексов. Естественное содержание стабильного изотопа в почве, костных тканях, среде достигает  $3,7 \cdot 10^{-2}\%$ , в морской воде, мышечных тканях  $7,6 \cdot 10^{-4}\%$ . Биологические функции не выявлены; нетоксичен, может замещать кальций. Радиоактивный изотоп в среде отсутствует. Источники поступления в среду те же, что и цезия. Содержание радионуклида от ядерно-энергетических источников в почвах и последующих звеньях миграции соответствуют содержанию  $^{137}\text{Cs}$ .

*Плутоний* ( $^{239}$   $^{240}\text{Pu}$ ) - серебристый белый металл, образующий твердые нерастворимые оксиды; относится к редкоземельным элементам; в состав среды не входит. Характер миграции в среде не исследован. Как и торий, является  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучателем с энергетическими характеристиками спектра, близкими к естественному аналогу. Используется как компактный источник энергии, ядерное топливо, в производстве ядерных вооружений. На долю плутония от содержащихся в среде радионуклидов ядерного

происхождения приходится не более 1 %. До 10 % плутония может переходить в водорастворимые формы, мигрируя в последующем по биологическим цепочкам. Характер миграции, накопления и распределения в организме тот же, что и тория.

Близки по спектру излучений, физическим характеристикам радионуклиды нептуний ( $^{212,235}\text{Np}$ ), америций ( $^{237-242}\text{Am}$ ), кюрий ( $^{238-250}\text{Cm}$ ) - белые серебристые металлы, в природе не встречаются, относятся к разряду трансурановых элементов актиноидов; подвержены воздействию воздуха, воды, но не щелочей; благодаря образованию оксидных пленок на воздухе устойчивы; стабильных изотопов их в составе среды не обнаружено; являются  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучателями при средней энергии  $\alpha$ -излучения порядка 5 МэВ. Изотопы получают в ядерном реакторе как побочные продукты образования (и получения) плутония. Выход в среду при загрязнении от аварий на АЭС крайне незначителен.

*Йод* ( $^{131}\text{I}$  ( $^{129}\text{I}$ )) - неметалл черного с блеском цвета. Легко возгоняется (летуч). По последним данным, образуется в литосфере при спонтанном делении урана. Расчетная концентрация его составляет 10-14 г на 1 г стабильного йода. Содержание (по стабильному йоду) составляет  $0,14 \cdot 10^{-4}\%$  в почве и  $0,049 \cdot 10^{-4}$  в океане. Биологически активен, является обязательным микроэлементом, необходимым для синтеза гормонов щитовидной железы. Необходимое поступление с пищей 0,1-0,2 мг в сутки. Основным изотопом является  $^{131}\text{I}$ , образующийся при ядерных взрывах, эксплуатации (авариях) АЭС, авариях реакторов. Активно включается в экологические цепочки миграции. Суммарные накопленные дозы, сформировавшиеся после проведения открытых ядерных испытаний, составляют  $480 \cdot 10^{-2}$  мкГр. Выброс в среду при нормально эксплуатации АЭС колеблется в пределах 5-400 Бк/год. При поступлении радионуклида в организм через желудочно-кишечный тракт (основной путь) всасывается 100 % изотопа с последующим скоплением его в щитовидной железе, особенно у детей, превышая дозы на щитовидную железу взрослого в 2 - 10 раз. Продолжительность радиоактивности среды (организма) после однократного загрязнения (проникновения в организм) составляет не более 1,5 месяцев.

Экосистемные радиационные воздействия на население дополняются *искусственными лучевыми* нагрузками, не связанными с радиоактивным загрязнением среды. Ведущий вклад в суммарную дозу таких лучевых нагрузок на современного жителя вносит облучение в медицинских диагностических и лечебных целях (табл. 3.6.). Частота таких радиационных воздействий составляет 200 - 500 процедур на 1000 чел. в год (в США, Германии - до 600). Дозы облучения «среднего жителя» Беларуси достигают 0,17 - 0,13 мрад (радиологические исследования с использованием «меченых» изотопов формируют аналогичные дозы, но на значительно меньшее число жителей). Мощными излучателями являются экраны телевизоров, дисплеи компьютеров (см. табл. 3.6.). Внешним многоспектральным радиационным воздействием, вносящим значительный вклад в суммарную дозу не современных жителей, является космическое

излучение, резко меняющее свой состав при подъеме на высоту во время рейсовых пассажирских перелетов. (см. табл. 3.6.).

Таблица 3.6.

## Искусственные лучевые нагрузки на населения

Источник	Число облучаемых в России	Доза, мкГр (мрад)			
Рентгенография	50% населения	5,8-70 (0,5-7,0)	14,9-2,7 (0,5-2,3)	35,3-131,0 (3,5-13,1)	
Телевизионные экраны и дисплеи компьютеров (3-5 ч/сутки)	90-95% населения	36-54 (3,8-5,4)	7-15 (0,7-1,5)	9-26 (0,9-2,6)	
Космическое излучение при пассажирских перелетах	От 5 до 20 % при длительности полета от 1 до 8 часов	27-46 (2,7-4,6)	27-46 (2,7-4,6)	27-46 (2,7-4,6)	
Светящиеся циферблаты	1% населения	-	12-33 (1,2-3,3)	-	
Всего		<17 мбэр	<11,6 бэр	20 бэр<	

### 3.3. Территории повышенной радиоактивной загрязненности среды от проведения ядерных взрывов.

В конце 1942 г. на территории Чикагского университета, в помещении зала под трибунами университетского стадиона, началась подготовка к пуску первого в мире ядерного реактора. Установка массой в несколько тонн оказалась способной генерировать энергию, мощность которой превзошла все теоретические расчеты. Хиросима (6 августа 1945 г.) и, несколько позднее, Нагасаки стали первыми и, скорее всего, единственными мишенями для ядерного оружия. Наиболее загрязняющие среду испытания атомных зарядов в Америке велись в штате Невада (Запад США, население 799 тыс. чел.), на атолле Бикини (Маршалловы острова в Тихом океане, общая площадь 5 км<sup>2</sup>). В России (СССР) - на Семипалатинском полигоне (население прилегающих территорий 803 тыс. чел.), на Новой Земле, в Северном Ледовитом океане (общая площадь 83 тыс. км<sup>2</sup>, арктическая пустыня, тундра). Незначительный вклад в формирование аномальных радиационных территорий внесли Франция (о. Муруроа), Китай (высокогорье Лобнор на западе Китая, 780 м над уровнем моря).

США было проведено наибольшее в мире число ядерных взрывов (1085), в том числе и с официально зарегистрированными, радиоактивными загрязнениями среды в 270 мКи (против принятой в стране нормы 100 мКи), в том числе и в прилегающих к территории испытаний штатах Вермонт, Массачусетс, Нью-Мексико.

В СССР осуществлено 715 взрывов, в том числе самое большое количество испытаний в атмосфере (215). Большинство взрывов проведено на Семипалатинском полигоне, а также на Новой Земле, где были осуществлены взрывы (особенно водородной бомбы в 1961 г.) самой

большой мощности в мире. Совокупный тротиловый эквивалент проведенных здесь испытаний был эквивалентен 90 МВт. Радиоактивными цезием, стронцием, плутонием загрязнена тундра побережья Баренцева и Карского морей, крайний Север Западной Сибири. Полигон и прилегающие к островам прибрежные воды и заливы используются и как могильник отработавших реакторов, в том числе первого в мире атомного ледокола «Ленин».

Помимо ядерных испытаний, в СССР и США проводились геологоразведочные и промышленные ядерные взрывы (по договору от 28.05.1976) при условии полной экологической безопасности. В США, после подписания договора 1976 г. было проведено 27 подземных ядерных взрывов преимущественно с целью выявления глубоких газонефтяных месторождений в штатах Невада, Нью-Мехико. Только один из них оказался результативным - месторождение газа в Нью-Мехико. Нерентабельность заставила отказаться от ядерной геологической разведки. В СССР в мирных целях было проведено 115 подземных ядерных взрывов, в том числе 89 в России (16 в Западной Сибири, 15 в Астраханской области, 10 в Пермской области и от 2 до 5 в Башкирии, на Северном Кавказе, Мурманской и других областях).

Основой экологической безопасности при проведении ядерных взрывов служила высокая температура в точке взрыва, ведущая к сплавлению радиоактивных продуктов деления в состав литосферы. Взрывы велись в малообитаемых районах России. Основная часть радионуклидов деления вплавлялась в породу, формируя газодонепроницаемую емкость. Однако под действием подземных вод, перепадов температур в последующем возможна разгерметизация локальной радиоактивности и ее труднопрогнозируемая миграция. Как и в США, подобные взрывы признаны нерентабельными, наносящими трудно прогнозируемый ущерб окружающей среде, и в настоящее время они не проводятся.

**Аварийное радиоактивное загрязнение среды.** Потенциальными источниками формирования аномальных промышленных радиоактивных загрязнений среды являются атомные электростанции мира. Первый на Евразийском континенте реактор (запущенный 25 декабря 1946 г. на окраине Москвы) и первая в мире атомная электростанция (1954 г., г.Обнинск) строились и эксплуатировались с чрезвычайной предосторожностью. По теоретическим прогнозам тех лет - расчетам американских физиков, сделанным в 1958 г., авария на обычной АЭС могла бы привести к гибели 3400 чел. и переоблучению 43 тыс. чел. на территории около 385 тыс. км<sup>2</sup>.

В последующем, на основании анализа эксплуатации АЭС, меры предосторожности резко снизились, что привело к сокращению зон отчуждения вокруг АЭС (территорий запрета на строительство жилья).

За 1956-1990 гг. в СССР было построено 12 АЭС с 37 реакторами и 20 исследовательских реакторов. Советские реакторы по системам защиты были признаны (Лондон, 1960) наиболее безопасными, и до аварии на Чернобыльской АЭС крупных инцидентов на них не происходило. Тем не

менее типовые загрязнения среды даже при нормальном режиме работ неизбежны. Поэтому территории, непосредственно прилегающие к АЭС, реакторам, пунктам захоронений радиоактивных отходов, следует отнести к разряду с повышенной радиоактивностью среды.

В последующем это подтвердилось рядом аварий на АЭС в США и Англии (20 аварий за 20 лет), а затем в СССР и в Японии.

Состав радиоактивного загрязнения среды на прилегающих к АЭС и исследовательским реакторам территориях тот же, что и при ядерных взрывах, авариях, но при значениях, в сотни раз меньших по сравнению с загрязнениями от испытаний ядерного оружия.

Нередко радиоактивность среды связана с халатностью работников исследовательских радиационных лабораторий разного профиля. Ярким примером этому может служить радиоактивная загрязненность Москвы. На территории города в ходе скрупулезных обследований, выполненных после чернобыльских событий, обнаружено до 80 мест незарегистрированных «захоронений» использованных радионуклидов. В целом за 10 лет ликвидировано до 600 «могильников» такого рода.

Радиоактивное загрязнение среды в крупных масштабах произошло в результате аварии на военном ядерном центре «Челябинск-40» (или «Маяк») в 1957 г. вследствие теплового взрыва одного из ядерных хранилищ. Радиоактивный выброс (облако) охватило значительную часть Челябинской области (с населением 3548 тыс. чел.) и прилегающие районы Тюменской, Курганской, Свердловской областей. Максимальная длина образовавшегося Восточно-Уральского радиационного следа составила 300 км. Загрязнение среды активностью свыше  $0,1 \text{ Ки/км}^2$  (по стронцию-90, основному радионуклиду взрыва) охватило 23 тыс.  $\text{км}^2$ , 217 населенных пунктов с общей численность населения 270 тыс. чел.

Помимо аварийной загрязненности, на территории района площадью  $30\text{-}40 \text{ км}^2$  было сосредоточено более 200 могильников: с радиоактивностью 4 млн. Ки – вплавлены в стекло; с 150 млн. Ки – в спецхранилищах и емкостях; около 200 млн. Ки – сброшены в озеро Карачай, Старое Болото, пойму реки Течи.

*Чернобыльская катастрофа.* Территориальное распределение радиоактивного загрязнения шло неравномерно. Радиоактивными выпадениям, повысившим радиационный фон более чем в 5 – 10 раз за счет короткоживущих изотопов, подверглись территории Польши, Германии (ГДР), Италии, Швейцарии, Франции, Бельгии, Нидерландов. К началу мая аналогичные выпадения регистрировались в Великобритании, Греции, Израиле, Кувейте, Турции. Но наиболее массивным загрязнениям подверглись 13 областей России, Беларуси, Украины: Минская, Брестская, Ровненская, Могилевская, Гомельская, Житомирская, Киевская, Черкасская, Черниговская, Брянская, Калужская, Орловская, Тульская. Суммарная площадь районов с загрязнением  $> 40 \text{ Ки/км}^2$ , потребовавших срочной эвакуации свыше 130 тыс. чел., составила  $7000 \text{ км}^2$  ( $2000 \text{ км}^2$  в России). Для

дезактивации территорий было снято около 200 тыс. м<sup>3</sup> грунта, заасфальтировано 2500 км дорог, снесены и захоронены деревни и поселки.

Меры, тем не менее оказались крайне неэффективными, и обратное заселение (особенно в Беларуси) было разрешено в немногие населенные пункты.

Распределение радиоактивной загрязненности чернобыльского происхождения чрезвычайно мозаично. Общая площадь цезий-стронций-плутониевой и короткоживущей иодной радиоактивной загрязненности в России составила 147 тыс. км<sup>2</sup> с 4270 населенными пунктами и общей численностью населения - 3 млн. чел., треть населения территорий с резко изменившимся составом среды (783 тыс.) - дети.

Наиболее сильно в России пострадали Брянская, Калужская, Тульская области, а также ряд районов Воронежской и Липецкой областей. Критическими радионуклидами загрязнений являются цезий (79,3 % от суммарной радиоактивности среды); стронций (19,8 %) и микровкрапления плутония (0,9 %).

В Беларуси доля территорий, радиоактивность которых превышала (по данным Международной программы ликвидации последствий Чернобыльской аварии) 1 Ки/км<sup>2</sup>, составила 22% (20 % населения). Из зон отселения и отчуждения было срочно эвакуировано 24,7 тыс. чел., 33 лечебно-профилактических учреждения осуществляли экстренное медицинское обслуживание эвакуированных.

В Украине загрязнению подверглось около 30 % территорий. Наиболее пострадавшим, потребовавшим экстренной медицинской помощи, оказалось Полесье. Радиоактивность Овручского, Ивановского, Полесского районов достигала 40 Ки/км<sup>2</sup>, накапливаемые эквивалентные дозы - 4,86 бэр/год. Общая численность населения Украины, получившего повышенные лучевые нагрузки (по данным 1991 г.), составила 1,53 млн. чел.

Справедливо ради необходимо отметить, что на территориях естественных аномальных радиационных воздействий, превышающих внешние лучевые нагрузки фона в пять-десять раз, проживают на протяжении тысячелетий несколько десятков миллионов человек (Индия, Непал); на территориях резко повышенных внутренних и смешанных естественных лучевых воздействий от излучений почв, минералов, радионуклидов, проникающих в организм, - примерно столько же (Китай, др. страны).

К настоящему времени в связи с резкими изменениями радиационного состава среды преимущественно вследствие аварий и радиационных воздействий, превышающих фон в той же, что и в естественных аномальных районах, кратности, численность облучаемого населения примерно удвоилась.

### **3.4. Особенности радиэкологического загрязнения**

В естественных природных условиях радиационное загрязнение среды, как правило, сочетается с воздействием и других техногенных факторов, прежде всего химического загрязнения. В силу этого вычленим влияние того

или иного загрязнения на экосистемные изменения среды бывает крайне сложно, а подчас невозможно, вследствие чего возможны необъективные выводы с последующей разработкой ошибочных теоретических концепций.

Так, исследования, проводившиеся на внепромышленных территориях повышенной радиоактивности в условиях высокогорья, в районах Хиросимы и Нагасаки, а также в запрещенных для заселения и промышленной деятельности районах чернобыльской катастрофы, указывают на бурный рост и большое разнообразие растительного, а в последующем и животного мира по сравнению с нерадиоактивными территориями. Вместе с тем аналогичные радиоактивные загрязнения среды после аварий, происшедших в непосредственной близости от крупнейшего в мире источника техногенной загрязненности среды - Нью-Йорка - и в других аналогичных зонах токсико-химических загрязнений среды, свидетельствуют об обратном - прогрессирующей гибели лесов, обеднении флоры и фауны.

Очевидно, фоновое техногенное химическое загрязнение определяет резервы устойчивости экосистем, их способность противостоять экосистемной деградации под воздействием новейших радиационных метаболитов.

К наиболее агрессивным, устойчивым в среде, накапливающимся в пищевых экологических цепочках с коэффициентом накопления, близким к аналогичным радиационным величинам (103-105 и более), относятся:

- хлорорганические пестициды (ДДТ и его аналоги); полихлорированные бифенолы (ПХБ);
- тяжелые металлы (особенно ртуть);
- диоксид серы, оксиды азота, 3,4 бенз(а)пирен - массивные газоаэрозольные выбросы от сжигания топлива.

Отличительной особенностью экосистемного поведения загрязнителей этого ряда является их способность при переходе из первичного звена загрязнения в последующие (например, из атмосферы в почву) превращаться в новые, более токсичные формы. Такие особенности ведут, как правило, к непредсказуемым на основании принятых токсикологических моделей последствиям, проявляющимся с большой инерционностью от момента загрязнения, что может вести к необъективным оценкам действующих факторов.

Примером таких откликов экосистем на изменения воздействий может служить водный тепловой выброс: при повышении температуры среды у рыб возрастает потребность в пище, но уменьшается скорость обмена, в результате снижается активность и способность к воспроизводству; подавление обменных процессов ведет к повышению (депонированию) накопления в них типовых загрязнителей среды (особенно метилированной ртути), что вызывает подавление репродукции вида. Параллельно формируется дисбаланс экосистемных процессов, приводящий к последующей медленной эвтрофикации водоема (накоплению биогенных элементов), дисбалансу, завершающемуся бурным развитием водорослей

(цветением), дефициту растворенного в воде кислорода и, как следствие, к гибели биоценоза водоема.

Наиболее массивным из перечисленных загрязнителем среды является диоксид серы и обязательно сопутствующие ему оксиды азота, оксид углерода. Время жизни загрязнителя в атмосфере невелико (2-3 ч), с последующим образованием серного ангидрида ( $\text{SO}_3$ ), легко переходящего при взаимодействии с водой в серную кислоту и сульфаты. Каждое последующее соединение в этой цепи реакций более токсично. Действие загрязнителей в экосистемах начинает проявляться уже при содержании нескольких микрограммов выбросов в метре кубическом. Суммарный ежегодный выброс диоксида серы в атмосферу Земли (по расчетам) составляет 150 млн т. Массивность выбросов  $\text{SO}_2$  в атмосферу и образование сульфатов лежат в основе конденсации влаги воздуха, появления мелкодисперсных аэрозолей, загрязняющих атмосферу, изменения спектра солнечной радиации, климата. Последующее выпадение с осадками и водная миграция сульфатов ведут к закислению водоемов, гибели планктона, резкому снижению воспроизводства рыб, снижению видового разнообразия флоры, фауны.

Пестициды, накапливающиеся в конечных звеньях трофических цепей, у животных, человека (коэффициент накопления =  $5 \cdot 10^5$ ), как и сульфаты, опасны вследствие не только прямого токсического и подобного радиационному генетического воздействия, но и вторичных эффектов, связанных с нарушением биологического равновесия экосистем. Последнее особенно выражено в действии химически устойчивых пестицидов (группы ДДТ), приведших к гибели либо деградации ряда популяционных звеньев биоценозов. Загрязненность этим ядом достигает 3,9 кг/га. Время его экспоненциального полувыведения из почв в воду - 30 лет. Допустимые концентрации в почвах могут вести к функционально связанным с загрязненностью почв загрязнениям воздуха, воды в концентрациях, превышающих ПДК. Токсиканты этой группы, включенные в глобальный экосистемный метаболизм, обнаруживаются у моллюсков, рыб, птиц, животных, питающихся рыбой (в том числе в крови пингвинов).

К не менее агрессивным хлорорганическим соединениям относятся полихлорбифенолы (ПХБ), входящие в состав смазочных материалов, гидравлических жидкостей, синтетических смол, попадающие в среду при эксплуатации техники (испарение в атмосферу), со свалок и др. Коэффициент накопления ПХБ в планктоне составляет 104, в организмах рыб достигает 105, птиц и млекопитающих, связанных с водной средой, - 107-108. Токсичность и экосистемная агрессивность ПХБ ставит эти устойчивые хлорорганические соединения в один ряд с наиболее агрессивными конкурентами в метаболизме всех звеньев экосистем - тяжелыми металлами.

Тяжелые металлы и их соединения, особенно соединения ртути, относятся к загрязнителям, поставившим вопрос о лимитирующей среде: выброс соединений этого ряда в атмосферу ведет, тем не менее, к формированию агрессивных по отношению к человечеству и экосистемам в

целом почв, поверхностных вод среды. Ежегодный выброс ртути в атмосферу в виде паров и неорганических соединений металла составляет 5 тыс. т при сжигании твердых топлив и нефти и около 10 тыс. т при переработке минерального сырья. Современное содержание элементов в среде громадно. Отношение техногенного выброса тяжелых металлов к их естественному содержанию в литосфере достигает  $4,5 \cdot 10^9$  для ртути,  $6,5 \cdot 10^8$  для свинца. Общее содержание ртути в наземной биомассе достигает 500 тыс. т.

В биофизический круговорот вовлекается 40000 т в год ртути. В вовлечении металла в экосистемный метаболизм активное участие принимают аэробная и анаэробная микрофлоры, преобразуя металлическую ртуть в органическую - метилртуть. Этот процесс приводит к высокой концентрации и накоплению элемента в гидробионтах, рыбе и других морских организмах. Большое значение для биологической трансформации метаболита имеет закисление водоемов, ускоряющее формирование высокотоксичных соединений и их накопление в гидробионтах.

Выброс свинца и его соединений связан с работой металлургических заводов, сжиганием органических топлив тепловых электростанций, выбросом выхлопных газов автомобилей, использующих этилированный бензин. Концентрации свинца в воздухе крупных городов достигают  $4,5 \text{ мкг/м}^3$  (фоновое содержание свинца в воздухе не превышает 2-40  $\text{нг/м}^3$ ). Средний глобальный уровень содержания элемента в почвах составляет 17  $\text{мг/кг}$  почвы (достигая 70  $\text{мг/кг}$  и выше).

Концентрация кадмия в основных типах почв лежит в пределах 0,01-1,4  $\text{мг/кг}$ . Сопутствующим выбросу тяжелых металлов, особенно свинца, крайне агрессивным соединением (внеконкурентным канцерогеном) является 3,4 бенз(а)пирен. Максимальная концентрация его в городах достигает 0,1  $\text{мкг/м}^3$ , превышая ПДК в зоне автомагистралей в ~ 10 раз.

Биологическая эффективность малоинтенсивных экосистемных воздействий большинства нерадиационных техногенных метаболитов среды и последствия воздействия факторов во многом схожи с аналогичными процессами проведения и формирования реакций от радионуклидов ядерного происхождения.

**3.5. Ядерная энергетика и ее воздействие на природную среду.**  
*Достоинства ядерной энергетики.* Как известно, в атомной энергетике развиваются два направления получения энергии: 1) деление атомных ядер тяжелых элементов (ядерная энергетика), 2) синтез ядер легких элементов (термоядерная энергетика). Доля ядерной энергии в общем объеме вырабатываемой энергии многих развитых стран составляет весьма большую величину, особенно во Франции (79%), Швеции (43%), Южной Кореи (43%), Японии (32%). Это прежде всего, кроме Швеции, страны, бедные традиционными энергоресурсами.

Действительно, возможности ядерной энергетики впечатляющи: по энергетической ценности 1000 т угля или 530 т мазута эквивалентны 0,33 кг урана на атомных электростанциях и 45 г дейтерия на термоядерных

реакторах. Для выработки 1 кВт/ч энергии затрачивается всего  $43,8 \cdot 10^{-6}$  г урана-235, а угля 0,3-0,4 кг. Сейчас в мире эксплуатируется свыше 500 блоков АЭС. По данным МАГАТЭ суммарная мощность АЭС к 2008 г. достигла 600 млн. кВт.

Одной из немаловажных причин (кроме чисто военных) развития атомной энергетики во всем мире (особенно в 60-80 гг. прошедшего века) стали все возрастающие расходы на разведку, добычу и транспортировку традиционных энергоносителей (нефти, угля, газа). В ряде стран эти расходы приблизились к 50% ресурса последних. В то же время широкое применение ядерной энергетики позволяет существенно экономить невозобновляемые энергетические ресурсы, использовать их более рационально. Так, для производства 1 трлн. кВт/ч электроэнергии пришлось бы сжечь на ТЭС 280 млн. т ископаемого топлива. Это сопровождалось бы интенсивным загрязнением природной среды продуктами неполного сгорания топлива, а также золой, диоксидами серы, азота и др.

Вопреки сложившемуся общественному мнению воздействие самих атомных электростанций на окружающую среду относительно невелико: в атмосферу попадает небольшое количество летучих веществ и аэрозолей (строго нормированное) - это тритий, радиоактивные изотопы ксенона, криптона, йода, осколки деления ядер, продукты активации. Газовые выбросы в атмосферу предварительно очищаются от радионуклидов.

Объемы загрязненных стоков, образующихся на АЭС, могут достигать 100 тыс. м<sup>3</sup>/год на энергоблок с реактором РБМК-1000 и 40 тыс. м<sup>3</sup>/год на энергоблоке с реакторами ВВЭР-440 и ВВЭР-1000. Объем твердых отходов ежегодно достигает на АЭС 2000-3000 м<sup>3</sup>. Основным видом твердых отходов является отработанное топливо. Ежегодно заменяют примерно 1/3 действующих тепловыделяющих элементов новыми. Как правило, большая часть твердых и жидких радиоактивных отходов (РАО) хранится в специально оборудованных на станции хранилищах.

Недалеко от АЭС всегда создаются города или поселки городского типа (Десногорск при Смоленской АЭС, Припять при Чернобыльской АЭС, Полярные зори при Кольской АЭС и пр.), поэтому прямое воздействие на население ограничено. Что касается персонала, то годовая эквивалентная доза для сотрудников АЭС составляет 4,4 мЗв. Для людей, проживающих в окрестностях станции, она равна примерно 0,02 мЗв/год. Для сравнения фоновое излучение составляет 2 мЗв/год, а доза, получаемая в среднем за год при рентгеновских обследованиях, достигает 0,5-1 мЗв.

По ряду экономических и экологических показателей ядерная энергетика не уступает энергетике на угле, нефти и даже газе. Производство электроэнергии на атомных станциях не сопровождается выбросами в атмосферу диоксида углерода и поэтому не усугубляет проблемы, связанные с парниковым эффектом. Потребление кислорода на ядерных станциях также сведено к минимуму. Для разбавления небольших выбросов АЭС в атмосферу до допустимых концентраций требуется в тысячи раз меньше

воздуха в расчете на единицу вырабатываемой энергии, чем при работе обычных тепловых электростанций.

**Экологические проблемы ядерной энергетики.** Однако есть причины, в том числе и объективные, заставляющие относиться к ядерной энергетике с осторожностью. Накопленный опыт эксплуатации АЭС с реакторами деления выявил ряд их существенных недостатков.

Непрерывное *облучение* близживущего населения, растений и животных малыми дозами радиации и загрязнение среды радионуклидами. До сих пор идут дискуссии о пороге вредности малых доз радиации, тем более что радионуклиды попадают через пищевой цикл внутрь тела человека, накапливаются там и могут создать опасное внутреннее облучение. Если организмы как-то приспособились к естественным радионуклидам (последние практически не концентрируются в телах растений и животных), то весьма опасные для человека долгоживущие радионуклиды ядерного цикла стронций-90 и цезий-137, будучи по химическим свойствам эквивалентными соответственно кальцию и калию, легко усваиваются растениями и животными. Как следствие, их концентрация в некоторых сельскохозяйственных растениях на один-два порядка превышает концентрацию в зараженной почве.

*Необходимость длительного хранения на территории АЭС ядерного топлива, а затем переработки и захоронения высокотоксичных РАО.* С каждым годом их количество, а также шлаков растет. Они сохраняют свою активность в течение многих столетий. Проблема усложняется тем, что коэффициент использования ядерного топлива составляет лишь менее 3--5%. Уже к 2000 г, годовая выгрузка отработанного ядерного топлива из реакторов, эксплуатируемых в мире, составила около 10 тыс. т, из которых 100 т - масса особо опасных отходов.

Как ни парадоксально, ряд специалистов считает, что захоронение РАО в морских глубинах менее опасно, так как там существуют более благоприятные условия для быстрого рассеивания и нейтрализации радионуклидов и меньше возможностей для захоронения водных организмов, служащих объектами морского промысла. Однако тщательное изучение гидрологического режима глубоких (более 7 км) впадин показало, что обновление глубинных вод океана происходит менее чем за 100 лет, а в ряде случаев подъем воды с глубин свыше 1 км осуществляется всего за 3-4 года. Таким образом, даже сверхглубокие впадины не могут служить достаточно надежным местом захоронения РАО.

К настоящему времени отработаны следующие технологии захоронения РАО: 1) для больших количеств высокоактивных отходов - концентрирование и последующее хранение (посредством остекловывания, бетонирования и последующего складирования в глубоких шахтах); 2) для небольших количеств высокоактивных РАО - извлечение долгоживущих изотопов с высокой токсичностью (ядовитостью) перед удалением остаточной активности; 3) для отходов средней степени активности - хранение (например, в специальных бассейнах под водой), по достижению

распада короткоживущих изотопов и последующее рассеивание в той или иной среде; 4) для относительно небольших количеств слабоактивных отходов - разбавление (например, водой) и последующее рассеивание в воде морей и океанов. Нет нужды говорить о том, что последний способ экологически опасен.

Существуют и другие, в том числе экзотические (например, выброс РАО в космос) способы хранения радиоактивных отходов. Все они сложны и дорогостоящи. При любом способе хранения РАО должны быть изолированы от биохимического круговорота элементов в биосфере.

АЭС оказывают сильное тепловое воздействие (тепловое загрязнение биосферы) на окружающую среду, особенно на естественные водоёмы. Сброс тепла в окружающую среду от АЭС в 1,5-1,8 раз больше, чем от ТЭС, что объясняется разницей в значениях КПД, равных 30-40%. Расход воды на охлаждение, например, для одной из крупнейших тепловых станций (Конаковской ГРЭС) составляет 70--90 м<sup>3</sup>/с (сток таких рек как Южный Буг). Для мощных АЭС этот расход достигает 180 м<sup>3</sup>/с. Наибольшую опасность представляет охлаждающая АЭС вода, сбрасываемая в природные водоемы при температуре 40-45°С. Такие тепловые сбросы приводят к изменению теплового режима рек и озер и, как следствие, к гибели отдельных водных организмов.

О масштабах теплового загрязнения говорит такой факт. В США наиболее крупном производителе энергии - для охлаждения сбросных вод ТЭС и АЭС потребуется, согласно расчетам, треть стока всех рек страны. Поэтому имеется проект сбрасывать нагретые воды АЭС в море, что также является недальновидным.

Помимо перечисленных недостатков АЭС, следует отметить еще два обстоятельства. Во-первых, крайне опасным является то, что большинство ныне действующих АЭС размещено вблизи крупных городов и вблизи крупных водоемов и рек; некоторые из них находятся в местах, где зафиксированы разломы земной коры. Во-вторых, на сооружение АЭС требуется затратить до 25% стоимости электроэнергии, которую АЭС выработает за время своей работы. В-третьих, продолжительность работы АЭС составляет 40- 50 лет, после чего должен быть произведен демонтаж оборудования, зданий, сооружений, а площадка подвергнута рекультивации. Подсчитано, что на эти работы необходимо затратить средства, вполне соизмеримые со стоимостью строительства самой атомной электростанции.

Указанные экологические проблемы, связанные с «нормальным» функционированием, не идут ни в какое сравнение с последствиями крупномасштабных аварий на АЭС. Только в экономическом аспекте аварии на АЭС «Три Майл Айленд» (США) и на Чернобыльской АЭС обернулись десятками миллиардов долларов прямых убытков и, по-видимому, сотнями миллиардов косвенных.

Страх перед подобными катастрофами резко изменил отношение людей к ядерной энергетике, подорвал доверие к надежности АЭС. США, Япония, Великобритания притормозили строительство новых АЭС, другие

страны (Швеция, Австрия) отказались от него совсем и даже закрывают уже действующие. Понятно, что радиофобия в первую очередь затронула население Беларуси, России и Украины.

**Мероприятия по повышению уровня безопасности АЭС.** После трагедии Чернобыля были произведены коренные усовершенствования технологий ядерной безопасности многих АЭС, которые позволили вывести их на высокий уровень.

Основная задача в проблеме безопасности АЭС состоит в том, чтобы надежно локализовать осколки деления и продукты их радиоактивного распада как при нормальной эксплуатации, так и при возможных авариях, связанных с повреждением оборудования, неисправностями в системе управления, ошибочными действиями обслуживающего персонала или стихийными бедствиями. Для полной гарантии безопасности обычно предусматривается несколько защитных барьеров. В общем случае их может быть четыре.

Первым барьером служит матрица с распределенными частицами ядерного топлива. Вторым - оболочки тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов). Роль, третьего выполняют корпус реактора и контур циркуляции теплоносителя, препятствующие выходу продуктов деления при разгерметизации ТВЭЛов. Наконец, в качестве четвертого барьера могут быть использованы специальные защитные оболочки, исключающие загрязнение атмосферы при разуплотнении корпуса реактора или контура циркуляции теплоносителя. Защитные оболочки - это сплошные железобетонные или металлические сооружения, рассчитанные на снижение давления, удержание радиоактивного пара и улавливание радиоактивных продуктов в случае максимальной проектной аварии (в этом случае предполагается мгновенный разрыв трубопровода наибольшего диаметра). При сооружении АЭС оборудование контура, который при аварии может стать источником распространения радиоактивности, размещается в герметичных боксах, снабженных системами снижения давления пара. Боксы, по существу, решают ту же задачу, что и защитная оболочка.

Решению задачи безопасной эксплуатации подчинена даже архитектура главного здания АЭС, которое скомпоновано по зонам. В зоне строгого режима возможно воздействие на персонал ионизирующего излучения, а также заражение воздуха и поверхностей оборудования радиоактивными веществами.

В зоне свободного режима влияние радиации полностью исключено. Прямое сообщение между зонами невозможно. Доставка материалов, оборудования, приборов в зону строгого режима осуществляется через отдельные входы и транспортные пути. Люди проходят туда только через санпропускник.

В свою очередь зона строгого режима разбита на помещения постоянного пребывания персонала, полуобслуживаемые (разрешается периодическое пребывание людей во время работы реактора) и необслуживаемые (во время работы реактора вход туда запрещен). Для

каждой из этих групп санитарные правила устанавливают индивидуальные допустимые уровни радиационного воздействия. Исследования, проведенные на действующих атомных станциях, показывают, что реализованные при их сооружении меры обеспечения радиационной безопасности создают надежные условия для эксплуатации АЭС в соответствии с требованиями действующих санитарных норм и правил.

Для снижения уровня радиоактивности выбросов АЭС применяют современные технологии фильтрации. Радиоактивные газы погружают в систему очистки, состоящую из аэрозольных, угольных фильтров и газгольдеров, где они выдерживаются до распада короткоживущих радионуклидов и только затем сбрасываются в атмосферу. В месте выброса газов производится постоянное измерение их объема и радиоактивности. Радиационная обстановка воздушной среды контролируется на различных удалениях в радиусе до 60 км от АЭС, причём служба внешней дозиметрии на всех постах проводит, кроме этого, отбор проб почвы, воды и растительности.

На АЭС разрабатываются меры для максимально возможного исключения сброса сточных вод, загрязненных радиоактивными веществами. Так, в водоемы разрешается отводить только строго определённые количество очищенной воды с концентрацией радионуклидов, не превышающей уровень для питьевой воды. В связи с большим расходом воды на охлаждение большое внимание уделяется разработке замкнутых циклов охлаждения и новым способам отвода теплоты, в том числе и воздушно-конденсационными установками.

Однако воздействие АЭС на окружающую среду нельзя рассматривать изолированно от других стадий ядерного топливного цикла (ЯТЦ). ЯТЦ включает следующие взаимосвязанные производства: добычу урановой руды, ее переработку с получением урановых концентратов и гексафторида урана; разделение изотопов (обогащение) урана; изготовление ТВЭЛов; регенерацию отработанного ядерного топлива на радиохимических заводах, хранение, обработку и захоронение отходов высокой и низкой удельной активности; транспортировку топлива и радиоактивных отходов между различными предприятиями ЯТЦ.

С целью повышения экономических показателей работы АЭС, а также для снижения величины рассеиваемой в окружающей среде энергии активно разрабатывается предложение создания крупных комплексов на базе АЭС, в которых будет использоваться «сбросное тепло» электростанций в тепличных хозяйствах для растениеводства, в рыбных водоемах и т. п.

Рассматривая вопрос о перспективах ядерной энергетики, следует объективно оценить данные по разведанным и потенциально извлекаемым запасам энергоносителей. В продолжительной перспективе из всех традиционных энергоносителей человечество может рассчитывать только на уголь и ядерную энергию. Однако широкомасштабное применение АЭС станет возможным только при устранении экологических ограничений, часть которых рассмотрена выше.

В ряде стран основным направлением в обеспечении безопасности АЭС признается размещение их под землей, вместо защиты реакторов прочными оболочками. Уже накоплен в этом плане немалый мировой положительный опыт: под землей размещены ядерные реакторы в Красноярске-26, Чузе (Франция), Халдене (Норвегия), Агесте (Швеция), Луцерне (Швейцария), Гамболдте (США). Кроме того, реальные успехи в области разработки линий электропередач на принципе сверхпроводимости откроют перспективы строительства мощных АЭС в отдаленных и малонаселенных регионах.

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ

## Глава 4. Альтернативная природосберегающая энергетика

### 4.1 Альтернативные источники энергии

Помимо широкого использования невозобновляемых источников энергии (уголь, нефть, газ, ядерное топливо) активно изучается и реализуется возможность получения энергии за счет альтернативных (нетрадиционных) ресурсов, таких, как энергия ветра, солнца, геотермальная и энергия волн, а также других источников, которые относятся к неисчерпаемым, возобновляемым и экологически чистым (рис.4.1)

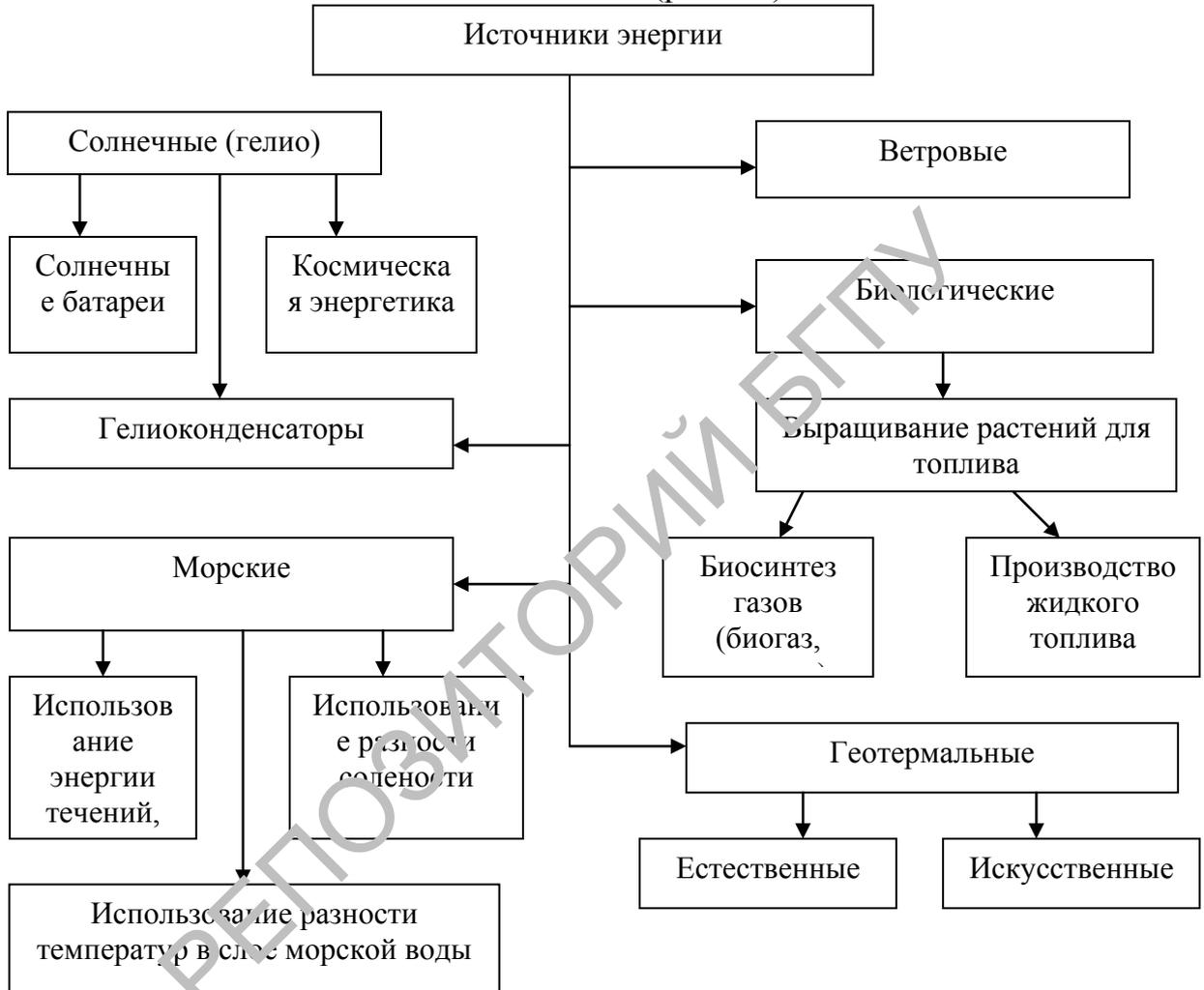


Рис. 4.1. Классификация альтернативных источников энергии

Как известно, различие между невозобновляемыми источниками и возобновляемыми состоит в том, что использование первых оказывает заметное влияние на биосферу, приводит к дополнительному нагреву ее участков. Поэтому эти виды источников энергии называют *добавляющими*, а вторые *недобавляющими*. Действительно, забирая солнечные лучи в установки, которые расположены на поверхности Земли, человек изымает энергию из цикла ее нагревания, а затем (после использования) возвращает планете в том же количестве в виде тепла. Иначе говоря, сколько взято из энергетического фонда, столько и вернулось в среду обитания в виде тепла. Напротив, добавляющая энергия в соответствии с вышеизложенным может рассматриваться как энергия, увеличивающая нагрев биосферы.

При современных технологиях преимущественно производится добавляющая энергия. Ее рост обостряет качественно новую проблему защиты географической оболочки и биосферы от прямого энергетического перегрева. Энерговооруженность человечества стремительно увеличивается, и это приводит к повышению средних температур приземных слоев атмосферы. При сохранении современных темпов технического развития хозяйственная деятельность людей через 50—70 лет окажет существенное воздействие на климатические условия многих стран и регионов мира. Возможны таяние полярных льдов, активизация селей, возникновение засухи в одних районах земного шара и значительное увеличение осадков в других.

Согласно мнению ученых, безопасный предел использования добавляющей энергии (своего рода лимит для человечества) составляет не более 0,1% мощности падающей на Землю солнечной энергии, т. е. около 100 млрд кВт. Сейчас земная цивилизация производит для своих нужд (промышленность, быт, транспорт) добавляющую энергию мощностью 10 млрд кВт — всего в 10 раз меньше допустимого предела.

Последние десятилетия ежегодный прирост энергопроизводства составляет около 3% в год. При сохранении такого темпа прироста добавляющей энергии допустимый предел будет достигнут через 75 лет. Уже в середине XXI в. рост производства невозобновляемых видов энергии должен быть прекращен, или последствия грозят глобальным кризисом цивилизации.

Вышеизложенное является главным аргументом в пользу масштабного использования возобновляемых источников энергии: солнечной, ветровой, океанской и др.

Возобновляемая энергия составляет пока незначительную часть от всей энергии, которая используется на земном шаре человеческим обществом. Она участвует в естественном круговороте энергии и веществ. Однако более 90% используемой энергии является добавляющей энергией.

Для того чтобы не нарушать естественный круговорот веществ и энергии в биосфере, человечеству необходимо уменьшить потребление энергии, ограничить дальнейший рост энергетических мощностей, установить квоты на производство энергии во всех государствах мира. А это неизбежно приведет к обострению политических, экономических и экологических конфликтов. Еще один весомый аргумент. Многие ученые считают, что развитие энергетики на невозобновляемом топливе ставит жесткий предел численности населения планеты, которое составило в 2006 г. 6,5 млрд человек и ежегодно увеличивается на 75—80 млн человек. Таким образом, в перспективе человечество столкнется с *энергодемографическим кризисом*.

#### **4.2 Использование солнечной энергии.**

Мощность солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, оценивается в 20 млрд кВт, что эквивалентно  $1,2 \cdot 10^{14}$  т условного топлива в год. Для сравнения: мировые запасы органического топлива составляют по самым оптимистическим прогнозам всего  $6 \cdot 10^{12}$  т, т. е. в 20 раз меньше.

Поток солнечного излучения, несомненно, является самым обильным источником недобавляющей энергии. Подсчитано, что использование лишь 0,01% общего потока солнечной энергии могло бы полностью обеспечить современные мировые потребности человечества в энергии.

Солнечная энергия обладает неоспоримыми преимуществами перед традиционным органическим и ядерным горючим. Во-первых, это исключительно чистый вид энергии, который не загрязняет окружающую среду, а само ее использование не связано с опасностью для биологических систем. Во-вторых, использование солнечной энергии в больших масштабах не нарушает сложившегося в ходе эволюции энергетического баланса Земли. Подсчитано, что без вреда для биосферы можно изъять около 3% всего потока, падающего на планету.

Солнечную энергию можно использовать напрямую (посредством улавливания техническими устройствами). Это *космическая гелиоэнергетика*. Возможно и опосредованное использование ее — через продукты фотосинтеза, круговорот воды, движение воздушных масс и другие процессы, которые обуславливаются солнечными явлениями (*наземная гелиоэнергетика*).

**Использование солнечной энергии для теплоснабжения.** Подсчитано, что в США для обогрева помещений и горячего водоснабжения расходуется до 25% производимой в стране энергии. В России, где климат суровее, эта доля существенно выше. Использование солнечной энергии — относительно простой и достаточно экономичный путь решения указанной проблемы. Наиболее распространено улавливание солнечной энергии посредством различного вида коллекторов, в которых она преобразуется в тепловую и нагревает тот или иной теплоноситель. В простейшем виде это темного цвета поверхности для улавливания тепла и приспособления для его накопления и удержания.

В современных гелиоконденсаторных установках солнечная энергия с помощью отражателей фокусируется на тепловоспринимающую поверхность солнечного коллектора. Далее теплоноситель (например, вода) идет на отопление жилых и промышленных зданий или поступает в паровую турбину. Коллекторы помещаются в прозрачную (из стекла) камеру, которая действует по принципу парника.

Солнечные водонагреватели используются для целей тепло- и горячего водоснабжения в южных климатических зонах. Дублирующей системой (в темное время суток, например) по отношению к солнечному водонагревателю служит традиционная топливная котельная.

В СССР еще в 1977 г. вступил в строй первый завод по массовому производству солнечных водонагревателей. В 1980 г. во Франции введена в эксплуатацию система теплоснабжения жилого дома, основанная на комбинированном использовании плоских гелиоприемников, теплонасосных установок и расположенного в грунте теплового аккумулятора. На крыше дома установлены 60 коллекторов солнечной энергии суммарной площадью 90 м<sup>2</sup>, под помещением размещены пластмассовые трубки, через которые

осуществляется теплообмен с грунтом в режимах накопления и потребления энергии. Отопление обеспечивается через напольные низкотемпературные обогревательные панели. При использовании системы для отопления дома объемом  $418 \text{ м}^3$  и площадью  $170 \text{ м}^2$  была получена годовая экономия энергии в 65% по сравнению с системой электрообогревом.

О масштабах внедрения гелиоустановок, отличающихся высокой экологичностью, говорят такие данные: еще в 1982 г. гелиоустановками в США было оснащено более 300 тысяч зданий, а в Японии более 113 тысяч. Для Беларуси, где стремительно дорожает электроэнергия, это, несомненно, пример для подражания.

**Наземные солнечные электростанции.** В основе солнечных электростанций (СЭС) лежит технология концентрирования солнечной энергии на поверхности парогенератора с помощью специальных отражающих зеркал (гелиостатов). Сотни и тысячи таких зеркал соединяют солнечные «зайчики» в единое пятно, что обеспечивает высокотемпературный (до  $4000^\circ\text{C}$ ) подогрев любого вещества, вплоть до плавления многих металлов.

В 1986 г. в Крыму вступила в строй первая СЭС-5 мощностью 5 тыс. кВт. Она представляет собой башню высотой 70 м, на которой установлен круговой солнечный парогенератор, высота и диаметр которого равны 7 м. Вокруг башни по концентрическим кругам размещено 1600 зеркальных гелиостатов. Общая площадь зеркальной поверхности составляет 40 тыс.  $\text{м}^2$ . Автоматизированная система управления обеспечивает такое положение каждого гелиостата, что отраженные лучи, независимо от положения Солнца на небосводе, в каждый момент времени направляются строго на поверхности парогенератора. В отличие от обычных электростанций на СЭС-5 установлены также аккумуляторы энергии. Это теплоизолированные емкости, в которых под большим давлением хранится перегретая вода. В случае облачности или после захода Солнца пар из верхней полости аккумуляторов может быть направлен на паровую турбину. Число часов солнечного сияния в Крыму позволяет обеспечить продолжительность работы СЭС-5 в течение 1920 ч/год. За это время электростанция может выработать около 6 млн. кВт-ч электроэнергии и обеспечить экономию до 2 тыс. т условного топлива.

Перспективно преобразование солнечной энергии в электрическую посредством использования *фотоэлементов*, в которых солнечная энергия преобразуется в электрическую без всяких дополнительных устройств. КПД фотоэлементов пока невелик, но они отличаются медленной изнашиваемостью из-за отсутствия каких-либо подвижных частей. Трудности широкомасштабного применения фотоэлементов обусловлены их дороговизной и необходимостью отведения больших территорий для их размещения. Частично последняя проблема решается тем, что для размещения батарей можно использовать крыши и стены домов.

Фотоэлектростанции используются в Калифорнии для превращения солнечной энергии в электричество, что позволяет справляться с пиковыми нагрузками, возникающими в летние месяцы, когда интенсивно работают

установки кондиционирования воздуха. СЭС есть в Испании, Италии, Израиле, Японии и др. странах.

По мнению специалистов, гелиоконденсаторные установки могут сыграть очень важную роль в решении локальных проблем некоторых пустынных районов мира и, возможно, даже некоторых южных стран в целом. Однако для этого необходимо снизить площади и расход конструкционных материалов фокусирующих отражателей. Такие отражатели могут занимать более 10% всей площади СЭС, что приводит к изменению коэффициента отражения земной поверхности и даже к нарушению теплового баланса региона. В настоящее время суммарная площадь отражателей, используемых в мировой практике, превышает 6 млрд. м<sup>2</sup> (6 тыс. км<sup>2</sup>), из них 1,8 млрд. м<sup>2</sup> в США и 1,3 млрд. м<sup>2</sup> в Японии.

Между тем, когда требуется получение небольшого количества энергии, использование фотоэлементов уже в настоящее время экономически целесообразно: это калькуляторы, телефоны, телевизоры, кондиционеры, маяки, буи и т. п.

**Космические солнечные электростанции.** Как известно, интенсивность солнечной радиации не только сравнительно невелика (с 1 м<sup>2</sup> поверхности можно получить лишь несколько сотен Вт тепла), но и существенно отличается на различных широтах, колеблется в течение года и суток, зависит от погодных условий. Однако в космосе Солнце излучает энергию с неизменной интенсивностью. Идеи строительства электростанций в ближнем космосе высказывал еще К.Э. Циолковский, однако патент был получен американским ученым П.Э. Глезером в 1973 г., он же предложил для их размещения геостационарную орбиту.

Искусственный спутник Земли, находящийся на расстоянии примерно 36000 км, на так называемой геостационарной орбите (ГСО), вращается синхронно с планетой и как бы зависает над определенной точкой поверхности. Земная ось наклонена примерно на 23,5° относительно плоскости эклиптики — большого круга небесной сферы, по которому происходит видимое годичное движение Солнца. Если поместить спутник на ГСО с таким же углом наклона, то более 90% времени он будет освещаться солнечными лучами, плотность потока энергии которых составляет здесь 1,4 кВт/м<sup>2</sup>, или в 7,5—15 раз больше, чем в среднем на поверхности Земли. Только в дни, примыкающие к весеннему и осеннему равноденствию (кратковременно, не более чем на 72 мин/сут), спутник окажется в земной тени. Очевидно, геостационарная орбита наилучшим образом подходит для размещения солнечной космической электростанции (СКЭС). Солнечная энергия может быть преобразована непосредственно в электрическую с помощью фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), из которых комплектуются солнечные батареи. В качестве элементов прямого преобразования солнечной энергии в электрическую применяют, например, фотоэлементы на основе кремния и арсенида галлия (КПД 15%).

На спутниках и космических кораблях фотоэлектрические батареи преобразуют солнечную энергию в электрическую, питающую бортовую

аппаратуру и вспомогательные двигатели, но мощность таких батарей, как правило, не превосходит 20—25 кВт. Проблема состоит в том, чтобы повысить мощность до промышленных масштабов (а это значит — в сотни тысяч раз) и в передаче производимой энергии на Землю. Как показывают расчеты, эксперименты и инженерные проработки, все это осуществимо. Однако на пути широкомасштабного применения космических электростанций (КСЭС) стоит пока не решенная проблема о способе передачи энергии на поверхность Земли.

Передавать выработанную в космосе электроэнергию предложено, в частности, с помощью СВЧ-излучения, которому не мешают ни толща атмосферы, ни тучи. Достигнутые успехи в развитии полупроводниковой электроники позволят в перспективе использовать приборы, непосредственно преобразующие солнечное излучение в СВЧ-мощность. По одному из проектов СВЧ-мощность поступает на передающую антенну диаметром около 1 км, которая и посылает мощный сфокусированный луч на Землю. Размеры приемной антенны должны быть заметно больше, чем передающей. В зависимости от места размещения (широты) это будет либо круг диаметром 8—12 км (на экваторе), либо вытянутый эллипс. Задача приемной антенны (ее называют ректенной) — не только принимать СВЧ-излучение, но и с помощью миллиона диодных элементов выпрямлять его, преобразовывать в постоянный электрический ток, который затем подается в высоковольтную сеть постоянного тока или обычным способом преобразуется в переменный ток.

Ректенна займет 250—270 км<sup>2</sup>. Предлагается решетку антенны несколько приподнять над поверхностью и использовать территорию под пашни, пастбища, сады. Решетка почти полностью поглощает СВЧ-излучение, пропускает 80% солнечного света и не задерживает осадков. Рационально строить здесь также энергоемкие промышленные предприятия, максимально автоматизированные. Можно размещать ректенны и на море, на необитаемых островах или искусственных островах, платформах.

Прежде чем приступить к сооружению КСЭС, следует оценить уровень их экологической опасности. Очевидно, что мощные пучки СВЧ-излучения не могут не сказаться на состоянии атмосферы и ее верхней части — ионосферы. Следует при этом учесть и то обстоятельство, что пучок СВЧ-излучения, неизбежно рассеиваясь на крупинках града, снежинках или каплях дождя, будет расширяться, захватывая примыкающее пространство. Кроме того, что немаловажно, над зонами ректенн не должны проходить маршруты самолетов, пути миграции перелетных птиц и т. д.

Нет полной ясности и относительно масштабов возможного взаимодействия СВЧ-пучка с заряженными частицами ионосферы. Как это скажется на прохождении радиоволн, а следовательно, на радиосвязи в целом?

Ныне интенсивно разрабатывается *лазерный способ передачи энергии*, при котором можно обойтись сравнительно небольшими, диаметром всего в десятки метров, приемопередающими устройствами, что обусловлено

особенностями лазерного луча, в частности слабой расходимостью пучка. В то же время диапазоны частот, в которых работают мощные лазеры с высоким КПД, не совпадают с теми, где удается обеспечить эффективное обратное преобразование световой энергии в электрическую; кроме того, лазерное излучение значительно ослабляется облаками и, следовательно, выходная мощность приемных устройств зависит от погоды.

Отметим, что вопрос о том, быть или не быть на орбите Земли космическим электростанциям, остается пока открытым. Задача сложная, прежде всего в экологическом отношении, комплексная, охватывающая научные, инженерные, экономические, социально-политические аспекты.

### 4.3 Энергия океанов и морей

Экологически чистая энергия морей и океанов может быть использована в волновых электростанциях (ВолнЭС), электростанциях морских течений (ЭСМТ) и приливных электростанциях (ПЭС), где происходит преобразование механической формы энергии воды в электрическую. Кроме того, имеются энергоустановки, которые используют наличие температурного перепада (градиента) между верхними и нижними слоями Мирового океана, — так называемые гидротермальные электростанции (ГидТЭС), а также разности солености в различных слоях морской воды.

**Энергия волн.** Так называемая волновая мощность Мирового океана оценивается в 2,7 млрд кВт, что составляет треть потребляемой в мире энергии. Средняя волна высотой 3 м несет примерно 90 кВт энергии на 1 м<sup>2</sup> побережья. При определении целесообразности размещения ВолнЭС в том или ином месте исходят из плотности приходящей энергии, т. е. ее значения на единицу длины волнового фронта. Например, на ряде прибрежных участков Японии этот показатель составляет до 40 кВт/ч волнового фронта.

Принцип работы ВолнЭС состоит в преобразовании потенциальной энергии волн в кинетическую энергию пульсаций и далее в однонаправленное усилие, которое впоследствии приводит во вращение вал электродвигателя. Волновые электростанции могут быть сооружены непосредственно на берегу, в акватории вблизи берега или в открытом море на различном удалении от берега.

Оригинальная плавучая электростанция разработана в Японии (1978). Станция позволяет преобразовывать энергию волн в камерах компрессионного типа в энергию сжатого воздуха. Далее сжатый воздух из соплового аппарата поступает на лопатки турбины, вращающей электрогенератор. Энергоустановка смонтирована на судне водоизмещением 500 т, ее максимальная мощность 2 кВт.

Главным преимуществом ВолнЭС является высокий уровень экологичности. Тем не менее волновой энергетике присущ ряд недостатков: сравнительно низкая концентрация энергии, широкий спектр волновых колебаний, относительное непостоянство в пространстве и времени.

**Энергия течений.** Создание гидроэлектростанций, использующих энергию океанических течений (особенно таких, как Гольфстрим и Куроисио), признается одним из перспективных направлений развития океанской

(морской) энергетики. Основным элементом таких гидроэлектростанций являются преобразователи, которые подразделяют на водяные и объемные насосы. К *водяным насосам* относят обычное лопастное колесо и различные его модификации (например, ленточное колесо с жесткими лопастями или устройства типа парашютов, автоматически раскрывающиеся при движении по потоку). Объемные насосы — это преобразователи типа сопла Вентури, у которого критическое сечение и срез расширяющейся части сопла соединены с атмосферой трубками. Жидкость в критическом сечении сопла движется со скоростью, большей скорости входящего потока. В результате создается пониженное давление, и воздух засасывается из атмосферы.

В США разработан проект установки в районах относительно сильных течений турбины с диаметром рабочего колеса 170 м и длиной ротора 80 м. Последний должен быть изготовлен из алюминиевого сплава с предполагаемым сроком эксплуатации не менее 30 лет. Потоки воды течения вращают лопасти турбины, а через систему мультипликаторов, повышающих число оборотов, вращают и находящийся на ее валу электрогенератор. Указывается, что наибольшую проблему представит передача производимой электроэнергии по подводному кабелю на берег. Турбину намечается устанавливать в районах течений на якорь и поднимать на поверхность с глубины рабочего положения только для профилактического осмотра. Стоимость производимой электроэнергии на подобной электростанции ожидается в 1,8 раза ниже, чем на тепловых станциях, и в 1,4 раза ниже, чем на атомных.

**Энергия приливов и отливов.** Известно, что уровень Мирового океана периодически колеблется: происходят прилив и отлив. Чередование приливов и отливов происходит ежедневно через 6 ч 12 мин. Причиной указанного колебания является так называемая приливообразующая сила, которая возникает при гравитационном взаимодействии Земли с Луной и Солнцем. При этом приливообразующая сила Луны в конкретной точке земной поверхности определяется как разность местной силы притяжения Луны и центростремительной силы от вращения системы Земля-Луна вокруг общего для этих небесных тел центра тяжести.

Приливы и отливы — источник экологически чистой энергии, огромный и практически неисчерпаемый, не зависящий ни от сырьевых запасов, ни от капризов погоды. Только часть мощности приливов, которая рассеивается на трение и вихревое движение масс воды, составляет около 1 млрд. кВт, что соответствует энергетическому потенциалу почти всех рек мира.

Впервые идея использования энергии приливов и отливов была реализована во Франции: в 1967 г. там дала ток первая в мире ПЭС. Годом позже в СССР была пущена Кислогубская ПЭС, несколько отличающаяся от французской. Она построена в устье реки Ура в 60 км западнее Мурманска, где высота прилива составляет 1,1-3,9 м.

Корпус Кислогубской ПЭС вместе с оборудованием был смонтирован как наплавная конструкция. Далее корпус отбуксировали к створу губы и

установили на заранее подготовленное место. В экологическом отношении наплавные конструкции обходятся гораздо дешевле стационарных перемычек (французский вариант). В России продолжают работы по созданию более мощных ПЭС. В частности, конструкторы работают над так называемой капсульной машиной с диаметром рабочего колеса 10 м.

**Использование разности температур различных слоев морской воды (тепловой насос).** Установлено, что средняя разность температур в Мировом океане на поверхности и на глубине 400 м составляет 12°C.

С целью преобразования энергии, обусловленной перепадом температур, используют системы, построенные: 1) по открытому принципу и одноконтурной схеме, когда в качестве рабочего тела применяется морская вода; 2) по закрытому принципу и двухконтурной схеме, когда применяется промежуточное рабочее тело (фреоны, аммиак, пропан и т. п.).

Принцип действия энергоустановок, использующих второй принцип (закрытый), состоит в следующем. Низкокипящее рабочее тело (например, широко применяемые в холодильной технике теплоносители группы фреонов или аммиак) испаряется в теплообменнике — испарителе за счет подвода теплоты от верхних теплых слоев океана. Пары низкокипящего рабочего тела при повышенной температуре и давлении поступают в турбину, где тепловая энергия теплоносителя преобразуется в механическую энергию вращения турбины. На одном валу с турбиной находится электрогенератор. Из турбины пары рабочего тела поступают в конденсатор, где они переводятся в жидкое состояние в процессе охлаждения водой, подаваемой из нижних холодных слоев океана. Далее рабочее тело подается в насос, откуда после повышения давления оно снова поступает в теплообменник — испаритель. Тем самым замыкается термодинамический цикл преобразования тепловой энергии в электрическую.

Большой интерес представляют установки с открытым контуром, не требующие использования низкокипящих жидкостей. К таковым относятся, например, такие, которые способны одновременно с электроэнергией давать пресную воду. В качестве энергоисточника для привода установки используется разность температур вод океана. Вместо аммиака в схеме с открытым контуром используется морская вода. Вода закипает при пониженных температурах и уменьшении атмосферного давления. При частичном вакууме (давление снижается в 15 раз по сравнению с давлением на уровне моря) вода при температуре 27°C закипает, образуя пар для вращения турбины. Затем, когда пар конденсируется с помощью охлаждения морской водой с глубины, на установке получают пресную воду. Открытый цикл устраняет все проблемы, касающиеся обращения с аммиаком, фреоном и т. п. Пресная вода вырабатывается в качестве побочной продукции.

К основным недостаткам указанных установок относится нарушение теплового равновесия из-за перемешивания теплых поверхностных и холодных глубинных вод, при котором возможны отрицательные последствия для теплолюбивой фауны. Кроме того, содержание диоксида углерода в глубинных водах океана больше, чем в поверхностных, в

результате чего он может выделяться в атмосферу и влиять на климатическую обстановку в регионе.

**Использование градиента солености вод.** Проведены теоретические исследования и выполнен цикл опытно-конструкторских работ, подтверждающих возможность создания энергетики, которая основана на перепадах солености вод. В настоящее время оцениваются перспективы масштабного использования указанной технологии и его экологические последствия.

#### **4.4. Геотермальная энергетика**

Подсчитано, что на глубине до 5 км в недрах Земли количество сосредоточенной теплоты многократно превышает энергию, заключенную во всех видах ископаемых энергоресурсов. В отдельных регионах, например, на Камчатке, в Исландии горячие воды изливаются на поверхность в виде гейзеров. Ныне доказано, что геотермальная энергия, получаемая за счет использования природного тепла земных недр, является наиболее перспективной и экологически безопасной среди возобновляемых видов энергии.

В настоящее время во многих странах мира (США, Россия, Исландия и др.) для выработки электроэнергии и отопления зданий, подогрева теплиц и парников используется тепло горячих источников. Теплоснабжение столицы Исландии Рейкьявика начиная с 1930 г. в основном осуществляется на основе геотермального тепла. Важно подчеркнуть при этом, что геотермальные электростанции (ГеоТЭС) по компоновке, оборудованию, эксплуатации мало отличаются от традиционных тепловых электростанций.

В основном используют термальные воды неглубокого залегания с температурой 50—100°C. Так, скважина с суточным дебитом 1500 м<sup>3</sup> термальной воды (60°C) обеспечивает нужды в горячей воде поселка с населением 14 тыс. жителей. В северных широтах подземные термальные воды используются для отопления жилищ, для лечебных целей, для выращивания овощей и даже фруктов в специальных оранжереях.

В искусственных геотермальных источниках в качестве рабочего тела применяют жидкость или газ, которые по пробуренным скважинам циркулируют в толще горных пород, имеющих высокие температуры.

Например, в США проводятся эксперименты по закачке холодной воды в скважины, пробуренные до глубины 4 км в зону горячих, но трещиноватых и потому безводных пород. Примерно 3/5 закачиваемой воды через другие скважины поступает на поверхность, но уже в виде горячего пара. Этот пар может не только вырабатывать электроэнергию, приводя в движение турбины, но и использоваться для центрального отопления. Подобные эксперименты проводятся и в других странах.

#### **4.5. Ветроэнергетика**

Энергия ветра в конечном итоге есть результат тепловых процессов, происходящих в атмосфере планеты. Причина активных процессов перемещения воздушных масс заключается в различии плотностей нагретого и холодного воздуха. Таким образом, первоначальным источником энергии

ветра является энергия солнечного излучения, которая переходит в одну из своих форм — энергию воздушных потоков.

Запасы энергии ветра на Земле чрезвычайно велики: по некоторым оценкам они превышают 80 трлн. кВтч, что существенно больше современного потребления энергии человечеством.

Ветряные мельницы когда-то были привычным элементом пейзажа в любой стране. Так, в Беларуси в XIX веке функционировали сотни мельниц с суммарной мощностью около 1000 кВт. Однако в дальнейшем ветряные мельницы были вытеснены энергетическими установками, работающими на ископаемом топливе.

Интерес к использованию ветра для получения электроэнергии ожил в последние годы. Было установлено, что в районах с интенсивным движением воздуха ветроустановки вполне могут обеспечивать энергией местные потребности. Первая в мире ветровая электростанция (ВЭС) с диаметром рабочего колеса 30 м и мощностью 100 кВт была построена в СССР в 1931 г. Значительные успехи в создании ВЭС были достигнуты за рубежом, особенно в США. Еще в 1941 г. там была построена ВЭС мощностью 1250 кВт, ныне общая мощность всех ВЭС в этой стране превышает 1,3 млн кВт, причем среди них есть и весьма крупные — с мощностью до 4 тыс. кВт.

Современная ветроэнергетика — преобразование энергии ветра во вращательное движение лопастьного колеса, в колебания, которые воспринимаются пьезоэлектрическими преобразователями, или в поступательное движение объекта с помощью ветродвигателей (парусов, роторов). КПД ветроустановок достигает относительно больших значений: 0,2—0,5.

Кроме того, размещение ВЭС в морских акваториях позволяет обеспечить энергией добывающие платформы и использовать земельные участки для выращивания сельскохозяйственной продукции. В Швеции на расстоянии 250 м от берега построена ВЭС мощностью 200 кВт, которая передает энергию по подводному кабелю. В этой стране разработан и выполнен проект, предусматривающий установку 300 ветряков в течение 20 лет, что в перспективе должно обеспечить производство 2 % электроэнергии от уровня современного потребления. Размеры ветроустановок поражают: на их башнях высотой 90 м будут вращаться двухлопастные пропеллеры с размахом лопастей 80 м. В то же время экологичность проекта вызывает определенные сомнения: возможны помехи рыболовству, судоходству, отрицательные последствия на развитие гидробионтов. На многих островах Стокгольмского архипелага электроснабжение производится за счет энергии ветра.

#### **4.6. Биоэнергетика**

*Биоэнергетика* основана на получении биомассы, которая используется в качестве топлива непосредственно или после соответствующей переработки. При этом выделяют три направления получения тепловой энергии: 1) непосредственное сжигание биомассы; 2) брожение биомассы,

при котором выделяется теплота; 3) использование таких энергоносителей, как биогаз или спирты, которые извлекаются в процессе образования биомассы.

Первое направление (сжигание растений) используется человеком более ста тысяч лет. И ныне во многих странах с населением около 2,5 млрд человек ежедневно пользуются дровами для отопления, освещения и приготовления пищи. Даже в столь развитой стране, как США, сейчас сжигается больше древесины, нежели ее идет на строительство и на производство бумаги.

Особенностью в настоящее время является то, что источником древесного топлива служит не только дикорастущий лес, но и специальные плантации быстрорастущих видов деревьев, например, тополя, ивы, ольхи, осины. Так, в Швеции, которая постепенно отказывается от атомной энергетики, в ближайшие годы планируется ежегодно закладывать посадки не менее 10 тыс. га так называемого энергетического леса.

Второе направление состоит в использовании теплоты, которая выделяется при брожении органических отходов (навоза, помета, опилок и т. п.); ее можно применить для обогрева парников, теплиц и других объектов.

Третье направление — извлечение из биомассы (отходов растениеводства и животноводства) таких энергоносителей, как биогаз или метан. Еще недавно считалось, что горючее из навоза и других отходов не может конкурировать с природным газом и нефтепродуктами. Но в последние годы эту точку зрения начали пересматривать, причем не столько с энерго-экономических, сколько с экологических позиций.

Тысячи крупных животноводческих комплексов и птицефабрик построены по всему миру, десятки их размещены и в нашей стране. Их функционирование сопровождается образованием огромных количеств навоза и растительных остатков. Так, на свиноводческом комплексе, где содержится 108 тыс. свиней, ежегодно образуется более 1 млн. м<sup>3</sup> жижи, что соответствует объему стоков города с населением 250 тыс. человек. Поскольку комплексы размещали подчас недалеко от городов, это усугубляло их отрицательное воздействие.

Для переработки стоков животноводческих комплексов часто применяют так называемое *анаэробное сбраживание*, в результате которого резко ускоряется природный процесс выделения метана CH<sub>4</sub> (биогаза). Из 1 т органического сухого вещества навоза и помета получают 450—660 м<sup>3</sup> биогаза, который по своей теплотворной способности соответствует 320—430 кг условного топлива. Кроме того, ежегодно остаются неиспользованными сотни тысяч тонн соломы, каждая тонна которой при метановом брожении дает 350—500 м<sup>3</sup> биогаза, а 1 м<sup>3</sup> последнего эквивалентен почти 1 л жидкого топлива. Между тем солому и другие растительные остатки до сих пор предпочитают сжигать, не заботясь об экологических последствиях. Подсчитано, что отходы сельскохозяйственного производства во всем мире составляют более 4 млрд.

т. Их переработка в метан может удовлетворить не менее 10% современных мировых энергетических потребностей.

Биологическая переработка органических отходов (*биоконверсия*) промышленности, сельского и жилищно-коммунального хозяйства — сложный микробиологический процесс. В нем принимают участие несколько взаимодействующих групп бактерий: 1) бактерии I группы (гидролитические) гидролизуют углеводы, белки, липиды и другие компоненты биомассы с образованием  $H_2$ ,  $CO_2$ , жирных кислот, спиртов и других продуктов брожения; 2) бактерии II группы (ацетогенные) разлагают определенные жирные кислоты и нейтральные продукты до ацетата,  $H_2$ ,  $CO_2$  в условиях полного отсутствия кислорода; 3) бактерии III группы (гомоацетатные) синтезируют ацетат из смеси  $H_2+CO_2$ , метанола и других соединений, в том числе углеводов; 4) бактерии IV группы (метанообразующие) используют  $H_2+CO_2$ , ацетат или одноуглеродные соединения для синтеза метана.

Наиболее важный момент преобразования сложного сырья — разложение целлюлозы. Бактерии, вызывающие это разложение, делятся на два класса в зависимости от температуры протекания процесса: мезофильные и термофильные. Оптимальная температура для мезофильных бактерий от 30 до 40°C, для термофильных от 50 до 60°C.

Деятельность бактерий и, соответственно, объем метана зависят от многих факторов: температуры, кислотности среды, соотношения между углеродом и азотом (C/N), наличия летучих кислот, питательных веществ и токсичности материалов. Процесс биоконверсии может происходить при низких (до 30°C), средних (35—40°C) и высоких (свыше 50°C) температурах. Чем выше температура, тем быстрее идет процесс ферментации, больше выделяется газа, меньше остается бактериальных и вирусных болезнетворных организмов. Наиболее производительный (в смысле получения биогаза) термофильный процесс требует дополнительной энергии.

Естественно, что для функционирования бактерий их необходимо обеспечивать питательными веществами (азотом, фосфором, серой, различными микроэлементами). Биогаз, получаемый при биоконверсии отходов, содержит от 55 до 70% метана  $CH_4$ , остальное — оксид углерода (IV). Присутствие  $CO_2$  снижает теплоту сгорания биогаза и увеличивает объем газа, подлежащего обработке и хранению. Биогаз рассматривают как локальное топливо, достаточно эффективно используемое на месте его производства.

Другой продукт биоконверсии — остаток (шлам) — обеззараженное высокоэффективное удобрение, по своим свойствам приближающееся к минеральному удобрению типа нитрофоски: 1 т сухого остатка (по содержанию питательных веществ) эквивалентна 3—4 т нитрофоски. Органические удобрения, получаемые в результате анаэробной ферментации отходов, значительно лучше в агрономическом отношении, нежели полученные обычным методом компостирования.

Широкое внедрение биоконверсии органических отходов решат несколько важнейших задач — сохранение окружающей среды, снабжение энергией, а также снижение риска распространения различных эпидемий у животных (при анаэробной ферментации уничтожаются яйца гельминтов, вредная микрофлора и семена сорняков).

#### 4.7. Водородная энергетика

Огромный интерес к водороду как к перспективному топливу обусловлен рядом неоспоримых его преимуществ, главные из которых таковы: 1) экологическая безопасность водорода в отличие от других топлив, так как продуктом сгорания его является водяной пар; 2) очень высокое значение теплоты сгорания (вчетверо больше, чем у каменного угля); 3) высокая теплопроводность; 4) низкая вязкость, что очень важно при необходимости его транспортировки по трубопроводам, особенно на большие расстояния; 5) практически неограниченные запасы сырья, если в качестве такового рассматривать воду; 6) возможность многостороннего применения водорода: он может быть использован как топливо во многих химических и металлургических процессах, в авиации и автотранспорте, а также в виде добавок к моторным топливам.

Вышеизложенное дало толчок к созданию т.н. *водородной энергетике*, в которой водород используется как носитель энергии. Водородная энергетика включает следующие стадии: получение водорода из различного сырья; хранение его в газообразном и сжиженном состояниях или в виде искусственно полученных химических соединений, например, гидридов (NaH); транспортирование водорода к потребителю.

**Получение водорода.** Для промышленного производства водорода используют в основном метан, жидкие и твердые горючие ископаемые, воду.

В настоящее время наибольшее количество водорода получают паровой конверсией природного газа. Указанный процесс включает следующие стадии:

1. Каталитическая конверсия метана с водяным паром:



Реакция осуществляется в присутствии Ni — катализатора при 750-870 °С.

2. Конверсия CO с водяным паром:

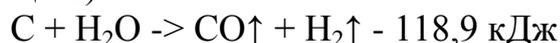


Процесс проводят при 370—440°С в присутствии железохромоксидного катализатора (первая ступень) и при 230—260°С в присутствии цинкхром-медного катализатора (вторая ступень).

3. Выделение водорода из газовой смеси.

Процесс проводят путем последовательной очистки газовой смеси от CO<sub>2</sub> и остатков непрореагировавших CO, CH<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>O.

Получение водорода из твердых горючих ископаемых (например, угля) включает переработку последних с водяным паром и воздухом или кислородом (газификацию):





При этом образуется водяной газ, который содержит до 40% CO и 50% H<sub>2</sub>, а также CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> и примеси сернистых соединений. В дальнейшем газы очищают от нежелательных компонентов, прежде всего негорючих примесей.

Электролизом воды можно получать водород совместно с кислородом. При этом электролитом служит водный раствор KOH (350—400 г/дм<sup>3</sup>); давление в электролизерах варьируют от атмосферного до 4 МПа (40 атм.), расход электроэнергии составляет 5,1—5,6 кВтч на 1 м<sup>3</sup> водорода.

Описанные традиционные методы получения водорода недостаточно экономичны, если речь идет о широкомасштабном его производстве, исчисляемом сотнями млн т (ныне мировое производство водорода на уровне ста млн т). Это связано, прежде всего, с чрезмерными затратами энергии.

Возможное усовершенствование основного традиционного метода получения водорода — каталитической конверсии природного газа — заключается в том, что процесс проводят в кипящем слое катализатора (газ проходит снизу вверх, взрыхляя последний), а необходимое тепло подводят с высокотемпературного ядерного реактора. При этом возможно снизить затраты на производство водорода на 20—25%.

Другой вариант получения водорода — водно-щелочной электролиз под давлением с использованием относительно дешевой разгрузочной электроэнергии, вырабатываемой в ночное время АЭС.

В последние годы интенсивно разрабатываются плазмохимические технологии получения водорода, связанные с использованием низкотемпературной (10<sup>3</sup>—10<sup>5</sup> К) плазмы. Из них наиболее перспективен двухстадийный углекислотный цикл, включающий: 1) диссоциацию (2CO<sub>2</sub> → 2CO + O<sub>2</sub>), осуществляемую в плазмотроне — устройстве для создания плазмы при помощи электрической дуги; 2) конверсию CO с водяным паром (CO + H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub>), после чего образовавшийся диоксид углерода возвращается в плазмотрон для нового цикла.

Имеют перспективу и термохимические циклы получения водорода из воды. Известно, что степень термической диссоциации воды при 248,3°C составляет 11,1%. Указанные термохимические циклы представляют собой совокупность последовательных химических реакций, приводящих к разложению воды при более низкой температуре, чем та, которая требуется для термической диссоциации. В этих циклах все компоненты системы, кроме водородсодержащего сырья (воды), регенерируются.

Среди других исследуемых в последнее время методов получения водорода из воды следует отметить фотоэлектролиз и биофотолиз.

*Фотоэлектролиз* - метод получения водорода и кислорода из воды при помощи солнечной энергии. Этот процесс осуществлен с КПД пока около 3—4%; он будет представлять практический интерес, если удастся довести КПД до 10—12%.

*Биофотолиз* воды основан на том, что определенные микроорганизмы, например, хлорелла, использующие солнечную энергию для своей

жизнедеятельности, способны разлагать воду с образованием водорода. При этом КПД трансформации солнечной энергии такими микроорганизмами составляет около 8%.

*Хранение и транспортирование водорода.* Газообразный водород хранят в специальных емкостях — газгольдерах, а также сосудах высокого давления — баллонах. Существуют проекты подземного хранения больших количеств водорода в выработанных месторождениях нефти и газа, горных выработках, искусственных соляных кавернах. Жидкий водород хранят и транспортируют в специальных герметических резервуарах с эффективной тепловой изоляцией. При этом емкость стационарных хранилищ достигает 3000 м<sup>3</sup> и более, железнодорожных цистерн — 100—125 м<sup>3</sup>, автомобильных — 25—75 м<sup>3</sup>. Наконец, проводятся исследования в области получения и хранения водорода в твердом и шугообразном (до 50% твердой фазы) состояниях.

#### **4.8. Использование альтернативных источников энергии в Беларуси**

В настоящее время удовлетворение потребностей в топливно-энергетических ресурсах нашей страны, обеспечение рациональной структуры топливно-энергетического баланса страны, поиск дополнительных источников энергии стали важнейшими задачами, стоящими перед энергетиками республики. Вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии является основной частью энергосбережения. Развитие и использование собственных возобновляемых источников энергии является ключевым элементом повышения энергетической безопасности и энергосбережения.

*Гидроэнергетика.* Важнейшую роль в обеспечении потребностей республики в энергоресурсах может сыграть малая гидроэнергетика. Основной гидроэнергетический потенциал Беларуси сосредоточен на трех реках: Западной Двине, Немане и Днепре. В ближайшие годы запланировано сооружение ряда малых ГЭС на притоках основных рек, а также на тепловых электростанциях с использованием энергетического потенциала охлаждающей воды.

В развитии малой гидроэнергетики преобладает сооружение новых, реконструкция и восстановление существующих ГЭС. Мощность построенных гидроагрегатов будет находиться в диапазоне от 50 до 5000 кВт, при этом предпочтение будет отдаваться быстромонтируемым гидроагрегатам капсульного типа. Как правило, все восстанавливаемые и вновь сооружаемые ГЭС должны работать параллельно с существующей энергосистемой.

Гидроэлектростанции включают в себя: водохранилище, подводящий водопровод, регулятор расхода воды, гидротурбину, электrorаспределительную систему. Водоохранилище, как источник потенциальной энергии, создают с помощью плотины, которая обеспечивает стабильный расход воды через турбину. Для микро-ГЭС водохранилища не создаются, а располагаются они в стороне от основного русла реки и соединяются с ним подводящим и

отводящим каналами. Опыт использования ГЭС в Беларуси насчитывает более 50 лет, еще в начале 60-х годов XX в. в республике действовало примерно 180 ГЭС мощностью 21 МВт и среднегодовой выработкой электроэнергии 88 млн. кВт-ч. В 1988 г. еще работали свыше 170 ГЭС, в том числе 5 малых ГЭС суммарной мощностью 3,5 тыс. кВт и годовой выработкой 16,5 млн. кВт-ч электроэнергии. Для притоков первого и второго порядка бассейнов рек Западная Двина, Неман, Виляя, Днепр, Припять и Западный Буг проведена оценка эффективности строительства новых малых ГЭС.

В перспективе на этих реках может быть установлено около 50 малых ГЭС суммарной мощностью 50 тыс. кВт и среднегодовой выработкой электроэнергии 160 млн. кВт-ч. На прудах и малых водохранилищах, напор на которых обычно составляет 2-5 м, применяются гидроагрегаты малой мощности. Такие микро-ГЭС мощностью 10-50 кВт могут устанавливаться на существующих гидротехнических сооружениях водоемов мелиоративных и водохозяйственных систем.

По ориентировочной оценке общая мощность микро-ГЭС на водохозяйственных системах республики может составить до 1 МВт. Однако, развитие большой энергетики и курс на индустриализацию Беларуси привел к консервации и прекращению эксплуатации многих действующих ГЭС. На конец 2001 г. в энергосистеме Беларуси эксплуатировалось 15 малых ГЭС общей мощностью 20 МВт со среднегодовой выработкой электроэнергии 53 млн. кВт-ч, что составляет 0,1% от общего потребления электроэнергии в стране. В Беларуси функционируют построенные в 50-е годы XX в. Чигиринская и Осиповичская ГЭС с общей мощностью 3,7 МВт и сеть ГЭС, восстановленных в 1992-94 гг., общей мощностью около 2 МВт, что обеспечивает среднегодовую выработку электроэнергии около 20 млн кВт ч, т. е. всего 1 % от возможного использования гидроэнергетического потенциала республики. Недавно введено еще несколько мини-ГЭС (Вилейская, Солигорская, в поселке Новоельня). Суммарная установленная мощность малых гидроэлектростанций на реках бассейнов Немана и Припяти оценивается в 93 тыс. кВт, а выработка электроэнергии может составить 390 млн кВт. ч., что обеспечит получение экономии 140 тыс. т условного топлива на тепловых электростанциях. Мировой уровень стоимости 1 кВт установленной мощности для микро-ГЭС составляет 2000-2500 долларов.

Строительство новых крупных ГЭС технически целесообразно и экономически оправдано на водохранилищах (объемом более 1 млн м<sup>3</sup>), где имеется возможность использования готового напорного фронта и существующих гидротехнических сооружений. Как показал анализ, общая установленная мощность таких ГЭС на 17 крупных водохранилищах республики неэнергетического назначения составит около 6 МВт, что обеспечит выработку электроэнергии порядка 21 млн кВтч в год.

Наиболее значительный объем электроэнергии может быть получен при строительстве каскада ГЭС на реках Западная Двина (Витебская, Полоцкая, Верхнедвинская) и Неман (Гродненская). Эти гидроэлектростанции при относительно небольшом затоплении пойменной территории позволят получить до 800 млн кВтч в год электроэнергии, при установленной мощности около 240 МВт.

Малая гидроэнергетика является экологически чистой альтернативой ископаемому топливу при производстве электроэнергии и может с успехом применяться для обеспечения нужд народного хозяйства республики.

**Ветроэнергетика.** Республика Беларусь располагает значительными ветроэнергетическими ресурсами и при среднегодовой скорости ветра, равной 4,3 м/с, удовлетворяет мировым требованиям коммерческой целесообразности внедрения ветротехники.

В нашей стране работы по оценке ветроэнергетического потенциала выполнены Госкомитетом по гидрометеорологии совместно с НПП Ветромаш и РУН «Белэнергосетьпроект». Исследованиями по 244 контрольным точкам, включая 54 метеостанции, 190 контрольным пунктам на территории Республики Беларусь ветроэнергетический потенциал Беларуси оценен в 220 млрд. кВт ч. Определен ветроэнергетический ресурс по областям и каждому району. На территории Республики Беларусь выявлено 1840 площадок для размещения ветроустановок с теоретически возможным энергетическим потенциалом 1600 МВт и годовой выработкой электроэнергии 6,5 млрд. кВт ч.

По причине небольших среднегодовых скоростей ветра в настоящее время перспективным следует считать использование автономных ветроэнергетических и ветронасосных установок малой мощности, в основном в сельскохозяйственном секторе. Должны найти применение ВЭУ в диапазоне 100-150 кВт, хорошо зарекомендовавшие себя в эксплуатации в странах со сходными с Беларусью условиями. При выборе конкретных образцов ВЭУ необходимо дополнительно учитывать абсолютную высоту местности, высоту возвышения площадок и их открытость, удаленность предполагаемого места размещения ВЭУ от потребителя.

Республика Беларусь может покрыть до 50 % потребности в энергии, использовав только 10 % пригодной под ветроэнергетику территории. На этой территории выявлено, как уже упоминалось, 1840 площадок, на которых могут быть размещены ВЭУ, широко используемые в мировой ветроэнергетике. Выявленные площадки - это в основном гряды холмов высотой от 20 до 80 м, где фоновая скорость ветра может достичь 5-8 м/с и на каждой из них можно разместить от 3 до 20 ВЭУ.

Сроки окупаемости ветротехники сопоставимы с окупаемостью малых гидростанций, парогазовых и газомазутных электростанций и значительно ниже угольных, атомных и дизельных. По завершению срока окупаемости эксплуатационные затраты ВЭУ

неизмеримо ниже электростанций, работающих на источниках жидкого, газообразного, твердого и ядерного топлива, так как не нуждаются в поставках ископаемых источников энергии.

Наиболее эффективно использовать ветротехнику на территории возвышенных районов большей части севера и северо-запада Беларуси, центральной зоны Минской области, в пределах Витебской возвышенности. Гарантированная выработка утилизируемой энергии ветра на 7% территории составит 20,5 млрд. кВт ч. Использование же зон с повышенной активностью ветра гарантирует выработку энергии ВЭУ до 6,5-7,5 млрд. кВт ч. с окупаемостью затрат в течение 5-7 лет.

В Беларуси имеется определенный опыт использования зарубежной ветротехники. На протяжении многих лет успешно работают ветроэнергетические установки мощностью 270 кВт и 660 кВт в п. Дружный на берегу оз. Нарочь и в г. Городок Витебской области.

**Использование энергии солнца.** На географической широте Республики Беларусь солнечное излучение намного меньше, чем в пустыне Сахаре: в республике в год излучается до 1200 кВт-ч на 1 м<sup>2</sup>. Это соответствует количеству энергии, содержащемуся в 60 литрах нефти. В целом, ежегодное солнечное излучение на всей территории Беларуси составляет такое количество энергии, которое превышает в 20 раз потребность в газе для выработки энергии.

Преимуществам солнечной энергии противопоставляется как важный недостаток малая плотность энергии. При полном солнечном излучении солнечная мощность составляет 1000 Вт на квадратный метр, однако среднегодовая составляет только 100 Вт/м<sup>2</sup>. Исходя из этого, гелиоустановки требуют больших площадей.

Другие площади, которые могут быть использованы - это фасады и технические постройки (мосты, шумопоглощающие стены). По метеорологическим данным, в Республике Беларусь в среднем 250 дней в году пасмурных, 185 дней с переменной облачностью и 30 ясных, а среднегодовое поступление солнечной энергии на земную поверхность с учетом ночей и облачности составляет 240 кал на 1 см<sup>2</sup> за сутки, что эквивалентно 2,8 кВт-ч/м<sup>2</sup>. Согласно многолетним наблюдениям максимально возможное количество солнечных часов в году на широте Минска составляет 4464 ч, а фактическое - 1815 ч.

**Солнечные термические установки.** Солнечные термические установки используют для получения горячей воды и обогрева помещений. Принцип их работы относительно прост. Попадающее на коллектор солнечное излучение нагревает находящуюся в коллекторе смесь из воды и антифриза. С помощью насоса подогретая жидкость поступает в накопитель. Через теплообменник солнечное тепло от жидкости в коллекторе передается воде. Охлажденная жидкость снова поступает в коллектор. Обычный отопительный котел обеспечивает необходимое количество тепла для подогрева воды и обогрева помещения. Годовая

потребность в горячей воде семей, проживающих в Северном полушарии, может быть на 60-70 % обеспечена за счет бесплатной солнечной энергии с помощью термических установок современного поколения.

Общий потенциал солнечной энергии в Республике Беларусь оценивается в  $2,7 \cdot 10^6$  млн. ТУТ. в год; технически возможный составляет  $0,6 \cdot 10^6$  млн. ТУТ. в год.

В республике разработаны и подготовлены к серийному производству гелиоводонагреватели со сварными полиэтиленовыми коллекторами. Это позволяет отказаться от применения дорогостоящих и тяжелых металлических труб для солнечных коллекторов, делает их производство более технологичным.

При благоприятных экономических и производственных условиях можно рассчитывать на самое широкое использование гелиоводонагревателей в южных районах республики. Целесообразно также развивать автономные источники питания мощностью от нескольких Вт до 3-5 Вт (бытовая аппаратура, освещение, энергообеспечение жилого дома, линий связи и т. д.) и модульные фотоэлектрические установки для сельскохозяйственных потребителей мощностью 0,5 и 1 кВт на элементах нового поколения.

**Возможности использования биомассы.** В сельском и лесном хозяйстве издавна используется солнечная энергия в большом объеме. На больших площадях выращиваются растения, которые накапливают энергию солнечного света и, в конечном счете, запасают ее в химической форме (биомассе). Когда растения поедаются животными, то биомасса преобразуется в побочный продукт в форме навозной жижи и твердого навоза. В общей сложности в этом аспекте следует различить три вида биомассы:

- влажная биомасса (в особенности навоз, а также скошенная зеленая масса) может через ферментацию (брожение) без доступа воздуха производить биогаз, который служит для выработки электрического тока или тепловой энергии;

- сухая биомасса (дерево и солома), пригодная для сжигания и тем самым для выработки электрического тока и тепловой энергии;

- специальные энергетические растения (рапс, китайский камыш, тополя и т. д.) могут поставлять дополнительную биомассу, которую можно использовать как горючее или для производства горючего.

Основным возобновляемым источником энергии во многих странах мира является биомасса, т. е. древесно-растительная масса. В общем объеме энергоносителей биомасса занимает около 60 % в ряде стран Африки, 40 % - в азиатских странах, 30 % - в странах Латинской Америки. В США, Дании, Швеции мощность отдельных установок по переработке биомассы достигает 400 кВт.

**Использование древесины в энергетике.** Беларусь обладает значительными лесными ресурсами. Общая площадь лесного фонда на 1 января 2006 г. составила около 10 млн. га, запас древесины 1,34 млрд. м<sup>3</sup>.

Ежегодный текущий прирост оставляет 32,37 млн.м<sup>3</sup>. Годовой объем использования дров, отходов лесопиления и деревообработки в качестве котельно-печного топлива в 2006 г. составил около 1,8 млн. ТУТ., расход древесного топлива для производства электрической и тепловой энергии стационарными электрогенерирующими установками составляет около 700 тыс. ТУТ. в год.

Использование древесины в энергетике сделало в последние годы заметный шаг вперед, как по качеству (значительно снизились выбросы вредных материалов благодаря улучшенной технологии сжигания), так и по количеству (быстрое строительство новых теплоэлектростанций на древесине).

Для производства биомассы в целях энергетического использования могут представлять интерес различные культуры, в особенности так называемые лигноцеллюлозные культуры, которые имеют в составе высокую долю энергетическо-химических соединений лигнина и целлюлозы. Сюда относятся как деревья (например, тополь, ива), так и травы (например, кормовые растения, зерновые и субтропические травы, такие как китайский тростник). Основа биомассы - органические соединения углерода, которые в процессе соединения с кислородом при сгорании выделяют тепло.

Возможности республики по использованию древесины в качестве топлива на настоящем этапе оцениваются на уровне 3,5-3,7 млн. ТУТ. в год, а потенциал в целом составляет около 6,5 млн. ТУТ. К этой категории топлива можно отнести и древесные отходы гидролизных заводов - лигнин, запасы которого составляют около 1 млн. ТУТ.

Для получения жидкого и газообразного топлива можно применять фитомассу быстрорастущих растений и деревьев. В климатических условиях республики с 1 га энергетических плантаций возможен сбор массы растений в количестве до 10 т сухого вещества, что эквивалентно примерно 4 ТУТ. При дополнительных агроприемах продуктивность гектара может быть повышена в 2-3 раза.

Наиболее целесообразно применение для получения сырья неиспользуемых земель и площадей выработанных торфяных месторождений, где отсутствуют условия для произрастания сельскохозяйственных культур. Площадь таких месторождений в республике составляет около 180 тыс. га и может быть экологически чистым источником энергетического сырья.

Для Республики Беларусь перспективным является также использование в качестве энергоносителя рапсового масла. Перспективным представляется выращивание рапса на загрязненных после Чернобыльской катастрофы территориях, так как семена рапса не концентрируют радиацию.

Использование отходов растениеводства в качестве топлива в республике является принципиально новым направлением энергосбережения. Общий потенциал растениеводства оценивается до 1,46

млн. т у.т. в год. По экспертным оценкам, к 2012 г. за счет рапсового масла может быть получено 70-80 тыс. т у. т.

**Энергия из отходов.** В мировой практике получение энергии из коммунальных отходов осуществляется несколькими способами: сжиганием, активной и пассивной газификацией. Наиболее перспективна газификация, т.к. в случае прямого сжигания возникают экологические проблемы (см. детально в гл. 9).

В Республике Беларусь ежегодно накапливается около 2,4 млн. т твердых бытовых отходов, которые направляются на свалки и два мусороперерабатывающих завода (Минский и Могилевский).

Потенциальная энергия, заключенная в твердых бытовых отходах, образующихся на территории Беларуси, равноценна 470 тыс. ТУТ. При их биопереработке с целью получения газа эффективность составит 20-25 %, что эквивалентно 100-120 тыс. ТУТ. Кроме того, необходимо учитывать многолетние запасы ТБО, которые имеются на полигонах складирования.

Только по областным городам переработка ежегодных коммунальных отходов в газ позволила бы получить биогаза около 50 тыс. ТУТ., а по г. Минску - до 30 тыс. ТУТ. Эффективность этого направления следует оценивать не только по выходу биогаза, но и по экологической составляющей, которая в данной проблеме будет основной.

**Использование биогаза.** В республике построено большое количество крупных животноводческих комплексов, на базе которых ежегодно образуются миллионы тонн отходов. Эти отходы практически без их предварительной обработки сбрасываются на поля как удобрения.

Однако, помимо пользы, они одновременно наносят значительный экологический ущерб. Размываясь снеговыми и ливневыми водами, навоз с полей, а также не обезвреженные воды предприятий животноводства, в особенности свиноводческих ферм, попадают в водоемы. Такие сточные воды содержат большое количество биогенных элементов, среди которых находятся фосфор и азот, способствующие массовому развитию водорослей.

Биогазовые установки используются преимущественно на сельскохозяйственных предприятиях. Навоз и фекалии домашних животных доставляются сначала в выгребную яму, в которой твердые куски (составные части) измельчаются, для того, чтобы появилась гомотенная смесь (субстрат). Эта масса на втором этапе накачивается в герметически изолированный и подогреваемый бродильный резервуар (ферментер), в котором анаэробные бактерии разлагают без доступа воздуха органические субстанции и производят биогаз.

Биоустановки используются не только из-за энергетической выгоды, они дают в итоге специальные преимущества для сельского хозяйства. Так, благодаря брожению, качество органических удобрений улучшается, и они лучше усваиваются растениями. Возрастающее значение приобретает также использование биологических отходов и

домашних сточных вод, особенно жирных и содержащих масло (например, жир из фритюрницы). Внесение их в биоустановку решает не только проблему захоронения, но и значительно повышает тем самым производство биогаза. Биогаз, замещая традиционные виды топлива, сокращает объем их использования на существующих электростанциях и котельных и тем самым улучшает экологическую обстановку.

Принципиально новым направлением может быть использование биогазовых установок на канализационных станциях крупных населенных пунктов, что дает возможность на 60-70 % сократить собственные нужды этих станций в энергоносителях.

Оценки свидетельствуют, что годовая потребность в биогазе для обогрева жилого дома составляет около 45 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> жилой площади.

#### ***Возможности использования в энергетических целях торфа.***

В последние годы в Беларуси ежегодно используется 7-11 млн. т торфа для нужд сельского хозяйства и 3,5-5 млн. т - для производства торфобрикетов, предназначенных отопления 44 тыс. коммунально-бытовых предприятий и 1,7 млн. индивидуальных домовладений. Потребности населения и коммунально-бытовых предприятий в твердом топливе удовлетворяются за счет торфа только на 30%, поэтому в Энергетической программе Республики Беларусь до 2010г. не предусмотрен возврат к его использованию в большой энергетике.

Однако неперспективность использования торфа в качестве топлива обусловлена, прежде всего, экологическими соображениями. В настоящее время более 50 % площади торфяных месторождений вовлечены в хозяйственную деятельность, что вызывает интенсивные процессы минерализации почвы, ветровой и водяной эрозии. Поэтому правительство Республики Беларусь приняло в 1991 г. решение об увеличении почти вдвое охраняемого торфяного фонда, который охватил почти 30 % торфяных месторождений.

Учитывая имеющиеся ресурсы торфа и то, что торфяные брикеты - дешевый вид топлива, можно говорить о возможности поддержания их производства. В связи с истощением запасов на действующих брикетных заводах в ближайшей перспективе ожидается снижение объема выпуска топливных брикетов. По этой причине возможно увеличение производства бытового топлива за счет добычи более дешевого кускового торфа (в 2 раза), а также за счет строительства мобильных заводов мощностью 5-10 тыс. т. Объемы добычи кускового торфа могут быть доведены до 300-400 тыс. т в ближайшие 3 года, в дальнейшем - до 800-900 тыс. т, что позволит значительно снизить напряженность в энергообеспечении населения.

#### ***Возможности использования геотермальной энергии.***

В глубине недр планеты Земля накоплены такие количества энергии, которые трудно представить. Температура при возрастании глубины постоянно растет, в Беларуси это приблизительно около 3 градусов на 100 м глубины.

В Республике Беларусь обнаружены две территории в Гомельской и Брестской областях с запасами геотермальных вод плотностью более 2 т у.т./км<sup>2</sup> и температурой 50 °С на глубине 1,4-1,8 км и 90-100 °С на глубине 3,8-4,2 км.

Однако, высокая минерализация, низкая производительность имеющихся скважин, их малое количество и, в целом, слабая изученность ситуации, не позволяют рассчитывать на освоение этого вида возобновляемой энергии в ближайшие 15-20 лет.

**Применение тепловых насосов.** Превращение низкопотенциальной тепловой энергии окружающей среды (воды, грунта, воздуха), а также тепловых отходов промышленных предприятий и коммунальных служб в тепловую энергию требуемого потенциала нашли широкое применение в теплонаносных установках (ТНУ).

Тепловые насосы достаточно давно и широко применяются для целей отопления, вентиляции, кондиционирования и горячего водоснабжения в мире. Тепловой насос представляет собой устройство, позволяющее аккумулировать тепло низкопотенциальных источников тепла, использующее эффект фазового перехода жидкости в пар при низких температурах (фреоны, хладагенты в диапазоне температур: -9-30°С).

Большая часть уже установленных устройств использует в качестве такой низкопотенциальной энергии воздух. Однако, растет интерес к системам, в которых тепло отбирается от грунта, грунтовых или поверхностных вод. На сегодняшний день грунтовой (геотермальный) тепловой насос (ГТН) является одной из наиболее эффективных энергосберегающих систем отопления и кондиционирования.

По существу тепловыми насосами является большинство широко распространенных холодильных машин, в том числе бытовых холодильников, так как они по тому же принципу отнимают теплоту от охлаждаемого объекта и при более высокой температуре отдают ее окружающей среде. Тепловые насосы в сравнении с холодильными машинами работают в диапазоне более высоких рабочих температур. Это, однако, не мешает использовать в тепловых насосах и холодильных машинах одни и те же элементы (компрессоры, теплообменные аппараты и т. д.), а также одни и те же или родственные рабочие вещества (с температурой кипения от -40 °С до +10 °С при атмосферном давлении).

Областями применения тепловых насосов является жилищно-коммунальный комплекс, промышленные предприятия, сельское хозяйство и др. В мировой практике в жилищно-коммунальном комплексе ТНУ находят наибольшее применение преимущественно для отопления и горячего водоснабжения (ГВС).

Для автономного теплоснабжения коттеджей, отдельных домов (в том числе школ, больниц и т.п.), городских районов, населенных пунктов применяются преимущественно ПТН с тепловой мощностью 10-30 кВт в

единице оборудования (коттеджи, отдельные дома) и до 5,0 МВт (для районов и населенных пунктов).

Источниками низкотемпературного потенциала чаще всего являются грунтовые воды, грунт, водопроводная вода, теплота канализационных стоков. На промышленных предприятиях ТНУ находят применение для утилизации теплоты водооборотных систем, теплоты вентиляционных выбросов, теплоты сбросных вод. На предприятиях, имеющих котельные, теплота от ТН используется для подогрева подпиточной воды для котлов и собственных тепловых сетей.

Многие промышленные предприятия одновременно нуждаются в искусственном холоде. Так, на заводах искусственного волокна, в основных производственных цехах используется технологическое кондиционирование воздуха (поддержание температуры и влажности).

Комбинированные теплонаносные системы «тепловой насос - холодильная машина», одновременно вырабатывающие теплоту и холод, наиболее экономичны. Особенности требования курортно-оздоровительных и спортивных комплексов к чистоте воздушного бассейна предполагают использование экологически чистых источников энергии, поскольку в таких местах в основном применяются децентрализованные системы теплоснабжения с применением мелких котельных на органическом топливе (обычно на мазуте).

#### ***Приоритеты в развитии автомобильной и возобновляемой энергетики.***

В условиях Республики Беларусь достаточно эффективным может быть использование различных видов возобновляемых источников энергии, на базе которых могут быть созданы различные энергетические установки, в частности:

- на территории имеются открытые для ветра возвышенности, что позволяет использовать ветроэнергетические установки различных типов;
- наличие достаточного количества лесохозяйственных угодий или право использования для хозяйственных нужд лесосек позволяет обеспечить производство древесного биотоплива;
- наличие ферм крупного рогатого скота численностью до 1000 голов, свиноводческих комплексов с поголовьем до 1500 тыс. голов или птицефабрик, а также отходов предприятий по переработке сырья позволяет создать биоэнергетические установки для производства эффективных органических удобрений и биогаза;
- наличие относительно большого водного массива позволяет осуществить отопление некоторых помещений с помощью теплонаносных установок в сочетании с солнечной водонагревательной установкой;
- расширение использования древесного биосырья в качестве источника топлива;

- активное внедрение в производство биогазовых установок и тепловых насосов;
- создание законодательной и нормативно-правовой базы, стимулирует развитие возобновляемых источников энергии (по примеру Германии) и так необходимой инфраструктуры в части обеспечения эксплуатации и сервисного обслуживания.

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ

## Глава 5 Транспортная экология

### 5.1. Структура и виды транспорта

Транспорт, с помощью которого осуществляется перемещение грузов и пассажиров, играет уникальную роль, связывая все важнейшие сферы материального производства в единую систему хозяйственной деятельности. Ни одна из них не может развиваться без тех или иных видов транспорта.

Как известно, различают гужевой, автомобильный, сельскохозяйственный (трактора и комбайны), железнодорожный, водный (речной и морской), воздушный и трубопроводный транспорт.

Густой сетью путей сообщения покрыт земной шар. Протяженность магистральных автомобильных дорог мира с твердым покрытием превышает 12 млн км, воздушных линий – 5,6 млн км, железных дорог – 1,5 млн км, магистральных трубопроводов около 1,1 млн км, внутренних водных путей – более 600 тыс. км, морские линии составляют многие миллионы километров. Для сравнения: окружность Земли по экватору составляет около 40 тыс. км, расстояние от Земли до Луны – около 380 тыс. км.

Несомненны и неоспоримы преимущества, обеспечиваемые обществом развитой транспортной сетью, но функционирование последней сопровождается ярко выраженными и неизбежными последствиями — отрицательным воздействием транспорта на окружающую среду, прежде всего ее живые компоненты и, конечно, самого человека, создавшего этот транспорт.

По оценке специалистов, в среднем вклад отдельных видов транспортных средств, например в загрязнение атмосферы, следующий: автомобильный – 85%; морской и речной – 5,3%; воздушный – 3,7%; железнодорожный – 3,5%; сельскохозяйственный – 2,5%.

Развитие различных видов транспорта, особенно автомобильного, широкое развитие автотрасс привели к многократному увеличению прямого и косвенного воздействия транспорта на людей. Обусловленные функционированием транспорта неблагоприятные экологические факторы (вредные газы, шум, вибрация и др.) ныне воздействуют не только на пассажиров, но и на множество людей, которые находятся вне транспортных средств и коммуникаций.

Характерным обстоятельством является то, что одновременно с усилением влияния современного транспорта на природную среду, измененные в результате этого природные факторы весьма заметно и все в большей степени прямо или косвенно воздействуют («мешают») его функционированию. При загрязнении воздуха, когда резко увеличивается густота туманов, прекращается работа аэропортов, замедляется движение на автотрассах. Даже птицы нередко являются причиной гибели летательных аппаратов.

При всем многообразии форм воздействия транспорта на природную среду их источники можно объединить в две основные группы. I) транспортные коммуникации (автодороги, железные дороги, аэродромы, трубопроводы и т. д.), они воздействуют непосредственно, постоянно и

длительно на природную среду; 2) транспортные средства (автомобили, самолеты, суда и т. д.), которые оказывают кратковременное влияние на природную среду; они вызывают экологические последствия, способные со временем исчезнуть, но могут сохраняться и относительно долго.

## **5.2. Экологическое воздействие транспорта на природную среду и человека**

**Отчуждение земель.** Естественно, что для размещения транспортных коммуникаций нужны земля, вода, воздух, подчас огромных площадей и объемов. Подсчитано, что в США площадь земель, на которых размещены автомагистрали, железные дороги и аэродромы, составляет 10,1 млн. га (101 тыс. км<sup>2</sup>), а площадь городов – 10,9 млн. га (109 тыс. км<sup>2</sup>). Автодороги занимают около 2% Великобритании, 6% – Японии и Бельгии.

### **Почворазрушающие процессы и деградация природных экосистем.**

При строительстве и эксплуатации дорог, трубопроводов, аэродромов происходят почворазрушающие процессы: оползни, просадки и особенно эрозия. Причем часто развивается особый вид последней – дорожная эрозия, происходящая в результате размыва и разрушения почв. Как следствие возникают группы оврагов по колеям грунтовых дорог. Чтобы избежать размыва в кюветах, необходимо сохранять в них травянистый покров, а также сооружать бетонные лотки.

Природные комплексы, расположенные вблизи насыпей железных и шоссейных дорог, постепенно трансформируются и деградируют. Например, вдоль дорог возникают заболоченные участки, достигающие сотен метров в ширину. В них в определенное время года развиваются болезнетворные микроорганизмы и, в перспективе, очаги массовых инфекций.

**Ухудшение агрохимического качества почвы и приземного слоя воздуха.** Известно, что вдоль автотрасс, железных дорог и выходящих на поверхность нефтегазотрубопроводов земля на большой площади загрязняется соединениями свинца, серы, нефтепродуктами и другими веществами. Особенно опасна придорожная полоса шириной до 200 м по обе стороны вдоль наиболее напряженных автомагистралей. Замечено, например, что вдоль кольцевой дороги вокруг Минска быстро погибают посаженные деревья. Категорически запрещается выращивать сельхозпродукцию вдоль дорог, собирать грибы, ягоды, пасти скот, особенно молочный (известны случаи отравления детей молоком коров, пасшихся вокруг дорог).

Приземный слой воздуха вблизи автодорог загрязнен пылью, состоящей из частиц асфальта, резины, металла, свинца, и другими веществами, часть которых обладает канцерогенным и мутагенным действием. Плохую услугу себе оказывают любители гулять или бегать по обочинам дорог; особенно следует об этом помнить при прогулке с маленькими детьми (например, в низких колясках): наиболее высокие концентрации вредных веществ в слое воздуха ниже 1 м от поверхности.

**Гибель животных.** Много зверей, в том числе и крупных, погибают, выходя на дороги, под колесами автомобилей. Особенно это имеет место,

когда автотрасса пересекает традиционные пути миграции животных. Поскольку подобные столкновения происходят ночью, в ряде густонаселенных стран вдоль дорог устанавливают специальные зеркала. Они отражают свет фар, создают перемещающиеся блики на темном фоне (например, леса), которые отпугивают зверей.

**Физические излучения.** Фактором ухудшения качества среды обитания стало шумовое воздействие железнодорожных и шоссейных магистралей, особенно с высокой плотностью движения. Вдоль, например, автомагистралей, на которых частота движения составляет несколько тысяч транспортных единиц в час, шумовое давление достигает 80 – 85 децибел (дБ), в то время как санитарной нормой являются 55 дБ. Поэтому в ряде стран мира, в том числе и в Беларуси, вдоль наиболее оживленных магистралей для защиты населения устанавливают специальные щиты или устраивают придорожные лесополосы.

**Характеристика выбросов автотранспорта.** Общий мировой парк автомобилей ныне превышает 800 млн единиц и быстро приближается к миллиарду. Его рост является одним из немногих показателей развития цивилизации, который заметно опережает прирост населения планеты и даже энергии. Подсчитано, что выставленные бампер к бамперу автомобили (со средней длиной 5 м и шириной 2 м составили бы цепочку длиной более 4 млн км (сто экваторов Земли и более чем 10-кратное расстояние до Луны), а суммарная площадь, занятая автомобилями, превысила бы 8 тыс. км<sup>2</sup>. Прогнозируется, что при сохранении тенденций роста автомобилей их число к 2015 г. может возрасти до 1,5 млрд штук.

В автомобильных двигателях внутреннего сгорания в мире ежегодно сжигается более 2 млрд т нефтяного топлива. При этом коэффициент полезного действия в среднем составляет 23%, остальные 77% уходят на обогрев окружающей среды.

В наиболее развитой автомобильной стране мира США на их производство расходуется пятая часть производимой в стране стали. Таким образом, автомобильная промышленность является одной из наиболее ресурсопотребляющих отраслей экономики. Автомобиль забирает из атмосферного воздуха его самый ценный для живых организмов компонент — кислород, а взамен выбрасывает в него ядовитые выхлопные газы, а также углеводороды (из-за испарения их топливных баков). Так, современный автомобиль для сжигания 1 кг бензина расходует 12 м<sup>3</sup> воздуха (2,5 м<sup>3</sup> кислорода). Для сравнения: взрослый человек потребляет в сутки 15,5 м<sup>3</sup> воздуха, в котором содержится около 3 м<sup>3</sup> кислорода. Подсчитано, что автомобильный транспорт США поглощает кислорода существенно больше, чем его генерирует растительность на всей территории страны. В городах, особенно крупных и насыщенных автотранспортом, кислорода сжигается намного больше, чем потребляет их население.

Везде, где эксплуатируется автомобиль, в воздух поступает большое количество вредных веществ. Согласно исследованиям 92–95% загрязнения воздуха в городах дает автомобильный транспорт, а прочие отходы

хозяйственной деятельности составляют лишь 5-7%. Согласно экспертным оценкам, более чем в 15 городах Беларуси именно автотранспорт оказывает преобладающее влияние на загрязнение воздушного бассейна.

Выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания (особенно карбюраторных) содержат огромное количество токсичных соединений - бенз(а)пирена, альдегидов, оксидов азота и углерода и особо опасных соединений свинца (в случае применения этилированного бензина). Наибольшее количество вредных веществ в составе отработавших газов образуется при неотрегулированной топливной системе автомобиля. Правильная ее регулировка позволяет снизить их количество в 1,5 раза.

Экологически менее опасными являются дизельные двигатели. Несмотря на большой выброс последними оксидов азота и серы, общая масса поступающих в атмосферу загрязняющих веществ с учетом класса их опасности для здоровья оказывается примерно в 2,5 раза меньше.

Автомобиль загрязняет атмосферный воздух не только токсическими компонентами отработанных газов, парами топлива, но и продуктами износа шин, тормозных накладок. В городские водоемы и почву попадают топливо и масла, моющие средства.

Количество выделяемых в окружающую среду вредных веществ зависит от численности и структуры автомобильного парка, а также технического состояния автомобилей и первую очередь их двигателей. Так, из-за отсутствия регулировки карбюратора бензинового двигателя внутреннего сгорания выброс оксида углерода может возрасти в 4-5 раз.

На состав отработанных газов двигателя большое влияние оказывает режим работы автомобиля в городских условиях. Низкая скорость движения и частые ее изменения, многократные торможения и разгоны способствуют повышенному выделению веществ.

Автомобиль отрицательно воздействует практически на все составляющие биосферы: атмосферу, водные ресурсы, земельные ресурсы, литосферу и человека. Оценка экологической опасности через ресурсоэнергетические переменные всего цикла жизни автомобиля с момента добычи минеральных ресурсов, нужных для его производства, до рециклирования отходов после окончания его службы показала, что экологическая «стоимость» 1-тонного автомобиля, в котором примерно 2/3 массы составляет металл, равна от 15 до 18 т твердых и от 7 до 8 т жидких отходов, размещаемых в окружающей среде.

Выхлопы от автотранспорта распространяются непосредственно на улицах города вдоль дорог, оказывая непосредственное вредное воздействие на пешеходов, жителей расположенных рядом домов и растительность. Выявлено, что зоны с превышением ПДК по диоксиду азота и оксиду углерода охватывают до 90% городской территории.

**Химический состав выбросов.** Выбросы автотранспорта сильно влияют на течение фотохимических процессов, что связано прежде всего с окислением следовых газов, в результате чего такие органические соединения, как метан и другие углеводороды (выбросы ДВС) превращаются

в диоксид углерода и воду. При этом в условиях избытка окисляемых соединений возможно формирование некоторых промежуточных продуктов, накопление которых приводит к загрязнению атмосферы. Одной из таких проблем является фотохимический смог, с развитием которого связано появление высоких концентраций приземного озона.

Выхлопные газы автомобилей, а также газы, образующиеся при испарении топлива, масла (неплотности), содержат около 200 химических соединений. В зависимости от особенностей их воздействия на организм человека указанные загрязняющие вещества подразделяют на 7 групп.

В 1-ю *группу* входят химические соединения, содержащиеся в естественном составе атмосферного воздуха: вода (в виде пара), водород, азот, кислород и диоксид углерода. Автотранспорт выбрасывает в атмосферу такое огромное количество пара, что в Европе оно превышает по массе испарения всех водоемов и рек. Из-за этого растет облачность, число солнечных дней заметно снижается. Все это способствует росту вирусных заболеваний, снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Во 2-ю *группу* включен оксид углерода (ПДК  $20 \text{ мг/м}^3$ ; 4 класс опасности). Этот бесцветный газ без вкуса и запаха, вдыхаемый человеком, соединяется с гемоглобином крови и подавляет его способность снабжать ткани организма кислородом. В результате наступает кислородное голодание организма, и возникают нарушения в деятельности центральной нервной системы. Последствия воздействия зависят от концентрации оксида углерода в воздухе; так, при концентрации 0,05% через 1 час появляются признаки слабого отравления, а при 1% наступает потеря сознания после нескольких вдохов. Добавим к сказанному, что оксид углерода может быть косвенной причиной многочисленных аварий на дорогах. Его действие на водителя автомашины в небольших концентрациях сходно с действием алкоголя или состоянием утомления. В гаражах, в тоннелях и даже на напряженных магистралях содержание оксида углерода часто достигает токсичных для человека уровней.

В 3-ю *группу* входят оксид азота NO (ПДК  $5 \text{ мг/м}^3$ , 3 класс) – бесцветный газ и диоксид азота NO<sub>2</sub> (ПДК  $2 \text{ мг/м}^3$ , 3 класс) – газ красно-бурого цвета с характерным запахом. Указанные газы являются примесями, способствующими образованию смога. Попадая в организм человека, они, взаимодействуя с влагой, образуют азотистую и азотную кислоты (ПДК  $2 \text{ мг/м}^3$ , 3 класс). Последствия воздействия зависят от концентрации в воздухе, так, при концентрации 0,0013% происходит слабое раздражение слизистых оболочек глаз и носа, при 0,002% - образование метгемоглобина, при 0,008% - отек легких.

В 4-ю *группу* входят углеводороды. К наиболее опасным из них относится 3,4-бенз(а)пирен (ПДК  $0,00015 \text{ мг/м}^3$ , 1 класс) – мощный канцероген.

В 5-ю *группу* входят альдегиды. Наиболее опасны для человека акролеин и формальдегид. Акролеин – альденид акриловой кислоты (ПДК  $0,2 \text{ мг/м}^3$ , 2 класс). Концентрация 0,00016% является порогом восприятия запаха, при 0,002% запах трудно переносим, при 0,005% непереносим, а при 0,014% через 10

мин наступает смерть. Формальдегид (ПДК 0,5% мг/м<sup>3</sup>, 2 класс) – бесцветный с резким запахом газ, при концентрации 0,007% вызывает легкое раздражение слизистых оболочек глаз и носа, а так же верхних органов дыхания, при концентрации 0,018% осложняется процесс дыхания.

В 6-ю *группу* входят сажа (ПДК 4 мг/м<sup>3</sup>, 4 класс), оказывающая раздражающее воздействие на органы дыхания. Частицы сажи активно адсорбируют на своей поверхности бенз(а)пирен, из-за чего резко ухудшается здоровье детей, страдающих респираторными заболеваниями ( их частота у детей Москвы на 48 % превышает среднюю величин в по России), лиц, больных астмой, бронхитом, воспалением легких, а также престарелых людей. Исследования, проведенные в США, показали, что 50-60 тыс. человек умирают ежегодно от загрязнения воздуха сажей.

В 7-ю *группу* входят свинец и его соединения. В бензин в качестве антидетонационной присадки вводят тетраэтилсвинец ( ПДК 0,005 мг/м<sup>3</sup>, 1 класс). Поэтому около 80% свинца и его соединений, загрязняющих воздух, попадают в него при использовании этилированного бензина. Свинец и его соединения снижают активность ферментов и нарушают обмен веществ в организме человека, а также обладают кумулятивным действием, т.е. способность накапливаться в организме. Соединения свинца особенно вредны для интеллектуальных способностей детей. В организме ребенка остается до 40% попавших в него соединений.

Одним из наиболее опасных загрязнений окружающей среды является, как отмечалось выше, транспортный шум: 60-80% шумов, настигающих человека в жилой застройке, создает транспортные потоки.

В табл. 5.1. приводятся данные об источниках транспортного шума, которые свидетельствуют о весомом вкладе в него автомобилей.

Таблица 5.1.

## Источники транспортного шума

Источник транспортного шума	Уровень звука, дБ
Автомобильный транспорт	
Грузовой автомобиль	85-96
Легковой автомобиль	82-88
Автобус	80-95
Мотоцикл, мопед	86-108
Воздушный транспорт	
Вертолет	106
Турбовинтовой самолет	105-115
Реактивный самолет	110-122
Рельсовый транспорт	
Трамвай	75-96
Метро	89-83
Железнодорожный состав	80-100

### 5.3. Сокращение выбросов автотранспорта, работающего на углеводородном топливе.

Автомобильными двигателями выделяются в воздух городов более 95% оксида углерода, около 65% углеводородов и 30% оксидов азота. Расплачиваться за это приходится ухудшением здоровья людей как собственников автомобилей, так и пешеходов.

К сожалению, на фоне безудержного роста числа автомобилей в Беларуси, увеличивается доля подержанных, длительно эксплуатируемых, в частности иностранного производства. Проверки показывают, что каждый пятый автомобиль эксплуатируется с повышенной токсичностью или дымностью отработанных газов. В ряде городов содержание оксида углерода в воздухе над автомагистралями в 10-20 раз превышает предельно допустимую норму. По оценкам медиков и экологов, автотранспорт заметно сокращает среднюю продолжительность жизни населения.

В связи с вышеизложенным возникла острая необходимость в осуществлении таких мероприятий, которые позволили бы снизить выбросы автотранспорта или ослабить его негативное воздействие на качество среды обитания( табл.5.2.)

Таблица 5.2.

#### Система мероприятий по снижению загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом

Планировочно-градостроительные	Технологические	Санитарно-технические	Административно-технические
Выделение скоростных дорог безостановочного движения и полос движения общественного транспорта	Замена двигателя на более экономичный и менее токсичный	Каталитический дожиг выхлопных газов	Установка нормативов качества топлива
	Замена топлива (улучшение качества, альтернативные виды топлива)	Фильтрация твердых частиц	Установление допустимых региональных нормативов выбросов
Организация пересечения улиц на разных уровнях	Совершенствование рабочего процесса двигателя	Установка трехступенчатых систем нейтрализации выхлопных газов	Вывод из города транзитного транспорта
Организация под/надземных пешеходных переходов	Расширение парка и использование муниципального электротранспорта (метро, трамвай, троллейбус)		Вывод из города складских баз, терминалов
Озеленение примагистральных и свободных территорий			

#### *Планировочно-градостроительные мероприятия*

Они включают специальные приемы застройки и озеленение автомагистралей, размещение жилой застройки по принципу зонирования (в первом эшелоне застройки – от магистрали – размещаются здания пониженной этажности, затем – дома повышенной этажности и в глубине застройки – детские и лечебно-оздоровительные учреждения. Тротуары, жилые, торговые и общественные здания изолируются от проезжей части улиц с напряженным движением многорядными древесно-кустарниковыми посадками). Важное значение имеет сооружение транспортных развязок,

кольцевых дорог, использование подземного пространства для размещения гаражей и автостоянок.

Исследования показали, что в условиях города двигатель автомобиля работает 30% времени на холостом ходу, 30–40% с постоянной нагрузкой, 20–25% в режиме разгона и 10–15% в режиме торможения. При этом на холостом ходу автомобиль выбрасывает 5–7% оксида углерода к объему всего выхлопа, а в процессе движения с постоянной нагрузкой – только 1–2,5%. Следовательно, наибольший выброс выхлопных газов имеет место при задержках машин у светофоров, при стоянке с невыключенным двигателем в ожидании зеленого света, при трогании с места и форсировании работы мотора. Поэтому в целях снижения выбросов необходимо устранить препятствия на пути свободного движения потока автомашин. В частности, сооружают специальные автомагистрали, не пересекающиеся на одном уровне с движением машин или пешеходов, специальные переходы для пешеходов на всех пунктах скопления машин, а также эстакады или тоннели для разгрузки перекрывающихся потоков транспорта.

В настоящее время все более активно внедряются автоматизированные системы управления (АСУ) городским транспортом.

Еще одно немаловажное обстоятельство. Экономичным может считаться такое транспортное средство, которое способно перевозить груз больше собственной массы. На практике же этому требованию удовлетворяют лишь велосипед и легкие мотоциклы (мопеды), остальные машины в основном возят сами себя. Недопустимо, что в городских и без того экологически тяжелых условиях автомобильный транспорт используется крайне неэффективно из-за низкого коэффициента его загрузки. Очевидно, что повышение коэффициента загрузки транспортных средств является реальной возможностью улучшения экологического состояния автомагистралей.

### **Технологические мероприятия**

***Совершенствование двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с искровым зажиганием.*** Известно, что наибольшее влияние на токсичность отработанных газов оказывают изменения, вносимые в систему питания и зажигания ДВС, поскольку они определяют процесс воспламенения и сгорания рабочей смеси.

В настоящее время автомобили ведущих зарубежных фирм выбрасывают в атмосферный воздух в 10–16 раз меньше вредных веществ, нежели в 80-х гг. XX в., когда развернулись крупномасштабные и дорогостоящие исследования по созданию экологически приемлемых автомобилей. В значительной степени этому способствовали такие нововведения, как двигатели, работающие на переобедненных смесях, многоклапанные системы перераспределения, впрыск топлива вместо карбюраторного смесиобразования, электронное зажигание. При запуске холодного двигателя в современных карбюраторах используются автоматы пуска и прогрева. На режимах торможения двигателя применяют экономайзер принудительного холостого хода – клапан, отключающий подачу топлива.

Большое внимание уделяется подбору обедненных смесей, регулировке дозирующих систем карбюратора. На двигателях с впрыском топлива появились электронные системы корреляции состава горючей смеси в зависимости от температуры, климатических и других условий. Система термостатирования воздуха, поддерживающая его температуру на входе в двигатель, создает оптимальные условия для приготовления горючей смеси. Система зажигания с высокой энергией распада свечи повышает надежность воспламенения смеси, особенно на режимах холостого хода.

Стремительно растет число автомобилей с двигателями прямого впрыска топлива, которые обеспечивают уникальное сочетание характеристик: расход топлива на уровне дизелей и скорость спортивных машин на бензиновом топливе. Известная компания «Мицубиси моторс» уже несколько лет выпускает машины с двигателями нового класса. Однорядный, 4-цилиндровый двигатель с рабочим объемом 1,8 л, не имеющий камеры предварительного смешения, отличается от аналогов с предкамерным впрыском вдвое большей степенью сжатия (20:1), способен работать при соотношении в смеси 40:1, более стабилен на малых оборотах. Благодаря этому на 25% повышается экономия топлива в городских условиях, на 8% снижается потребление топлива при движении со скоростью свыше 120 км/ч по сравнению с обычными бензиновыми двигателями и на 85% увеличивается мощность по сравнению с дизельными аналогами.

Фирма «Ауди» показала экспериментальную модель «А2-2», изготовленную из легкого алюминиевого сплава с 3-цилиндровым двигателем с рекордно низким потреблением бензина (3 л на 100 км пути), что достигнуто установкой двигателя с прямым впрыском топлива. В США разработан карбюратор с отдельным смесеобразованием.

Экологичность автомобиля можно повысить, если установить электронные системы управления, которые оптимизируют работу не только двигателя, но и тормозов и других агрегатов. Заметного сокращения расхода энергии, а значит, количества сжигаемого топлива и уменьшения загрязнения воздушной среды можно достичь, если использовать энергию, затрачиваемую на торможение. Указанная рекуперация была впервые успешно реализована на электрическом транспорте. Ныне построены и успешно используются в автобусах маховичный и гидропневматический рекуператоры. При этом экономия топлива составила 27–40%, объем выхлопных газов снизился на 39–49%.

**Совершенствование дизельных двигателей.** Как известно, в бензиновом двигателе рабочая (топливно-воздушная смесь) воспламеняется от постороннего источника (электрической искры), в дизельном – под действием температуры, повышающейся при сжатии смеси.

В последние годы во всем мире наблюдается тенденция возврата к дизельным двигателям. И этому есть веские причины. Во-первых, потребление топлива дизелем на 20–30% меньше. Во-вторых, токсичность выхлопных газов (по сумме компонентов) примерно в три раза ниже, чем у бензиновых двигателей.

Однако и применение дизелей не свободно от экологических проблем, поскольку в процессе работы выбрасываются твердые и газообразные вещества: несгоревшее топливо, сажа, аэрозоли, масла, диоксид серы и т. д. Поэтому для очистки выхлопных газов на дизелях устанавливают перед окислительным нейтрализатором сажевый фильтр. Последний представляет собой монолитный блок (пенокерамика, пенометалл) с несколькими заглушенными с одного конца параллельными каналами с пористыми стенками. Очистка выхлопных газов от сажи происходит при их прохождении через пористые стенки из одного канала в другой.

Успехи в области создания жаропрочной и ударопрочной керамики позволяют применять такие материалы в газотурбинных и так называемых адиабатических дизельных двигателях. Большая теплоемкость керамики позволяет отказаться от водяного охлаждения. Тем самым эффективность использования топлива в таких двигателях повышается на 30–35%, соответственно возрастает и экологичность.

Японские ученые предложили использовать в качестве горючего «кухонное» масло, являющееся бытовым отходом. Технологически эта операция состоит из двух этапов: на первом отработанное масло фильтруют от остатков пищи, а на втором производят химическую реакцию с участием метанола и катализаторной смеси. Получается горючее, которое годится для любого дизельного двигателя и в выхлопе дает меньший объем вредных примесей (прежде всего окиси азота), в сравнении со стандартным топливом.

В Швеции увеличивается потребление экологически чистого дизельного топлива, которое производится из рапсового масла. На нем работает общественный транспорт (автобусы), например, Стокгольма.

Для уменьшения загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами необходим повседневный технический контроль состояния автомобиля. Все автохозяйства обязаны следить за исправностью машин, выпускаемых на линию. Низкий уровень технического обслуживания, отсутствие контроля приводят к расстройству узлов и систем автомобиля, и выбросы вредных веществ в атмосферный воздух возрастают. В результате все усилия автомобильной промышленности по совершенствованию двигателей для обеспечения требований экологических стандартов сводятся на нет.

В Финляндии разработана специальная добавка к бензину которая не содержит свинца. Бензин с присадкой имеет октановое число 95; она эффективно очищает двигатель, уменьшает загрязнение клапанов, защищает топливную систему от коррозии, повышает морозостойкость карбюратора, обеспечивает равномерный режим сгорания топлива и уменьшает выбросы вредных веществ.

Разработано большое число присадок и к дизельному топливу, снижающих содержание в выхлопных газах сажи. Наиболее эффективными оказались барийсодержащие присадки. Сравнительные испытания их показали, что добавление к топливу 1% (по объему) присадок снижает концентрацию сажи в выхлопных газах при всех режимах работы двигателя

примерно на 70—90%. При этом уменьшается также на 60–80% выброс канцерогенных веществ. Одновременное применение присадок с различным механизмом воздействия на процесс сажеобразования позволяет резко снизить уровень ее выделения дизельными двигателями. Присадки снижают в выхлопных газах дизельных двигателей содержание сажи на 85–90%, а также концентрацию такого сильнейшего канцерогена, как бенз(а)пирен.

Большое внимание уделяется выпуску новых сортов автомобильного топлива. Так, в России найден способ изготовления порошкового бензина. По качеству он соответствует Аи-92 и Аи-76, но с более низким содержанием оксида углерода в выхлопе.

**Перевод автомобилей на природный газ.** Природный газ хорошо смешивается с воздухом, полнее сгорает в двигателе, не содержит практически серы, свинца и других нежелательных примесей. В отличие от бензина газ не нарушает масляную пленку между трущимися деталями, и они меньше изнашиваются, что продлевает эксплуатацию двигателя. Наконец, газовое топливо не требует различных присадок. Октановое число у него достигает 110, в то время как у высокосортного бензина 96. Перевод автомашин на газовое топливо позволит почти в 100 раз снизить выбросы в атмосферу канцерогенных веществ. Сократится и расход нефтепродуктов: каждая тысяча газобаллонных автомобилей экономит на грузовых перевозках 12 тыс. т, на таксомоторных – 6 тыс. т, на пассажирских (автобусах) – 30 тыс. т в год. Значительно сократятся затраты и на охрану окружающей среды и воздушного бассейна. Если учесть, что газ дешевле бензина, то достоинства газобаллонного автомобиля становятся еще более наглядными.

Сейчас из почти 800 млн. автомашин, эксплуатируемых в мире, более 10 млн. работают на природном газе. Наиболее активно переводятся на использование природного газа автомобили в Канаде, Италии и США. Их эксплуатация показала, что в выхлопных газах резко снижается содержание сажи, оксида углерода (II) и многих вредных органических соединений.

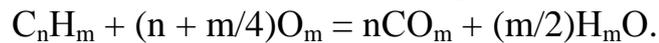
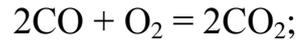
В то же время имеются и существенные недостатки газового топлива: 1) необходимость установки на автомобиле баллонов для сжиженного газа, находящихся под давлением 1,6 МПа; 2) опасность растекания смеси (она тяжелее воздуха) в местах нахождения человека (салоне автомобиля, гараже и т. д.), что может привести к взрыву; 3) необходимость создания разветвленной сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций, время заправки на которых одного автомобиля составляет 10–15 мин. Очевидно, что затраты на устранение указанных недостатков с лихвой окупаются экологическими преимуществами, которые обеспечивают широкое применение автомобильного газового топлива.

#### **Санитарно-технические мероприятия**

К таковым относится прежде всего установка каталитических нейтрализаторов. Они используются для обезвреживания выхлопных газов автомобиля путем химического превращения отдельных вредных веществ, содержащихся в них, при помощи катализаторов.

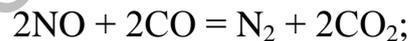
Канальный катализатор изготавливается, как правило, из керамики или металла и имеет «сотовую» структуру. Поверхность катализатора, несмотря на малые размеры, имеет рабочую площадь порядка  $3 \text{ м}^2$ . На эту поверхность нанесен слой платины с небольшой добавкой родия или палладия. Сотовые каналы проходят в продольном направлении.

По характеру осуществляемой в нейтрализаторах реакции они подразделяются на окислительные (называемые также дожигателями), восстановительные и бифункциональные. В *окислительных нейтрализаторах* при  $250\text{—}800^\circ\text{C}$  происходит окисление продуктов неполного сгорания — оксида углерода и углеводородов:

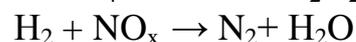


Первые каталитические конвертеры, использующие *окисляющий катализатор*, были установлены на моделях американских автомобилей, выпускаемых с 1975 г. Активный катализатор представлял собой благородный металл (например, Pd, Pt) или смесь оксидов металлов типа  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CoO}/\text{Cr}_2\text{O}_3$  на инертном носителе. Карбюратор, используемый в этой системе, создавал «обогащенную» смесь, что приводило к выбросу несгоревших углеводородов из первичной камеры сгорания. Этот избыток углеводородов затем окислялся катализатором при более низкой температуре и дополнительном пропуске воздуха, что минимизировало также и образование  $\text{NO}_x$ .

В *восстановительных нейтрализаторах* для глубокого восстановления оксидов азота необходимо, чтобы газ, поступающий в реактор, был слабо восстановительным или близким к нейтральному. В этом случае реакции восстановления оксидов азота в нейтрализаторе будут протекать достаточно полно:



Помимо CO, водород также присутствует в качестве восстанавливающего агента: он образуется при реакции паров воды (продукт сгорания) с любым несгоревшим углеводородом. Эта реакция может быть показана для метана (стехиометрия приближительна):



Наиболее современные разработки представляют собой двойную (*бифункциональные катализаторы*) систему, работающую с почти полным соблюдением стехиометрического отношения топливо/воздух: 1) восстановительный катализатор (восстанавливает  $\text{NO}_x$  до  $\text{N}_2$ ); 2) подача воздуха; 3) окислительный катализатор для окисления остаточных углеводородов и CO.

Испытания катализаторов российского производства показали, что они снижают уровень CO в отработанных газах на 80%,  $\text{C}_n\text{H}_m$  — на 70%, NO — на 50%. В целом токсичность выброса уменьшается в 10 раз. Процесс окисления, протекающий при прохождении выхлопных газов через слои катализатора (например, керамические гранулы), практически беспламенный.

Предпринятые поиски других, более дешевых и доступных катализаторов привели к выводу, что в известной степени платину могут заменить палладий, рутений, а также оксиды меди, хрома, никеля, диоксид магния.

В настоящее время проводятся поисковые работы по созданию сажевых фильтров с системой регенерации, обеспечивающих снижение выбросов твердых частиц на 80–90%. Разрабатываются также конструкции трехкомпонентных каталитических нейтрализаторов, которые позволят обеспечить выполнение требуемых норм выбросов.

#### ***Ужесточение стандартов на токсичность выхлопных газов***

Исходя из понимания глобальной опасности стремительно развивающегося автотранспорта, еще 20 марта 1958 г. под эгидой ООН было достигнуто международное соглашение «О принятии единообразных условий официального утверждения и о взаимном признании официального утверждения предметов оборудования и частей автотранспортных средств». Это соглашение сопровождается Правилами ООН, устанавливающими экологически безопасные уровни выбросов автотранспорта и обязательными для заводов-изготовителей.

В мире действуют три основных экологических стандарта, по которым измеряются предельно допустимые выбросы автомобиля страны-производителя:

- европейский международный стандарт (утвержден в 1993 г.), действует на территории всех европейских государств и является действительным по всему миру. Последовательно вводились стандарты ЕВРО-1, ЕВРО-2, ЕВРО-3 и ЕВРО-4, неуклонно ужесточающие нормативы токсичных выбросов;
- еще более жесткий американский стандарт, который в последнее время планируется объединить с европейским для упрощения процедуры контроля;
- самый строгий, японский стандарт, также действительный во всем мире.

Указанные экологические стандарты являются важным элементом нормативной базы создаваемой в настоящее время международной системы сертификации автотранспорта.

#### **5.4. Новые виды топлива и транспорта**

К таковому обычно относят различные спирты (метанол и этанол) и водород.

**Спирты.** В ряде стран, особенно располагающих обширными плантациями сахарного тростника, все в большей степени заменяют бензин на спиртосодержащее топливо.

В Бразилии, например, серийно выпускаются и широко эксплуатируются автомобили, использующие в качестве топлива чистые спирты. Их эксплуатация показала, что в выхлопных газах резко снижено содержание оксидов азота и углеводородов. Вскрылись и особенности применения таких топлив. Так, плотность метанола несколько больше плотности бензина, но

его энергоемкость в 2 раза меньше. Поэтому для сохранения дальности пробега по топливу бак для метанола должен быть в 2 раза больше по объему. Важное качество метанола состоит в том, что в выхлопных газах в 2–3 раза меньше токсичных компонентов, чем при использовании бензина. Этанол имеет энергоемкость на 25–30% выше, чем метанол, и, следовательно, требует пропорционально менее вместительного топливного бака. Экологические характеристики этанола близки к метанолу.

С начала 90-х гг. XX в. на метаноле работает часть общественного транспорта Швеции. В результате снизился в 5 раз не только выброс вредных веществ, но и спектр токсичности компонентов несравненно уменьшился.

Все шире внедряются так называемые комбинированные автомобильные топлива: смеси на основе бензина и спиртов (метанола, этанола). При содержании в топливе до 10% спирта не требуется изменять конструкции двигателей внутреннего сгорания. Более того, введение спирта способствует повышению октанового числа с 88 до 94 при одновременном снижении содержания оксидов азота и углеводородов в выхлопных газах.

**Водород.** Весьма перспективным заменителем традиционного топлива для автомобилей является водород. Двигатель, работающий на жидком водороде, не дает никаких запахов, не выделяет таких токсичных веществ, как свинец, оксиды азота, углерода. Жидкий водород почти в десять раз легче бензина. Водородный двигатель в ряде случаев может быть примерно на 50% эффективнее бензинового, поскольку работает на обедненной смеси, имеет более высокую степень сжатия, очень небольшое опережение зажигания и полное сгорание, дает в качестве выхлопа водяной пар.

Еще в 1979 г. на выставке в японском городе Окаяма был продемонстрирован легковой автомобиль, оснащенный двухтактным ДВС, использующим в качестве горючего жидкий водород. Автомобиль был способен передвигаться со скоростью до 120 км/ч. Несколько позже на одном из международных автомобильных конкурсов первое место занял «фольксваген», для которого топливом служила водородно-кислородная смесь. Удивительно, но его выхлопные газы были чище городского воздуха, засасываемого в карбюратор.

При использовании жидкого водорода необходима установка дорогостоящих криогенных баков со специальной термоизоляцией. Вполне возможно хранение водорода в твердой фазе в составе металлгидратов, что безопаснее хранения бензина в цистернах. Также могут связывать водород при определенных условиях и интерметаллические соединения на основе редкоземельных металлов титана, железа и ряда других металлов.

В Институте водородной энергетики и плазменных технологий (Россия) разработана принципиально новая схема водородного автомобиля. Окисление происходит не в двигателе внутреннего сгорания, а в электрохимическом генераторе (ЭХГ), где и вырабатывается электрическая энергия, вращающая основной вал двигателя. Трансформация химической энергии водорода в электроэнергию с помощью ЭХГ позволяет это делать при температуре кипения воды, что исключает синтез оксидов азота из

воздуха, неизбежно протекающий при высоких температурах в других системах. В итоге на выхлопе выделяется чистая вода.

Ученые разработали систему водородной безопасности — так называемые *дожигатели*, которые нейтрализуют водород при малейшей его утечке, сигнализируя водителю о неисправности.

Признается перспективным автомобиль с размещенным на его шасси химическим реактором, в котором вырабатывается водород из углеводов. Расчеты показали, что иметь такой реактор на машине экономичнее, нежели возить это топливо в специальных баллонах.

Преградами на пути широкого внедрения водорода в качестве топлива для автомобильных двигателей является сложность получения его в достаточно больших количествах и необходимость обеспечения высокого уровня безопасности при осуществлении процесса горения водорода.

**Жидкий азот.** В США создан двигатель, в котором вместо бензина используется жидкий азот. Бак с охлажденным до жидкого состояния азотом соединен с испарителем, окруженным «рубашкой», в которой циркулирует воздух. Жидкий азот, попадая в испаритель, превращается вследствие быстрого повышения температуры в газ, который выходит под большим давлением из испарителя и приводит в действие электрогенератор. Вырабатываемый последним ток после выпрямления подается для питания электродвигателей, установленных на колесах. Выхлопные газы такого автомобиля состоят из чистого азота, который, естественно, не загрязняет атмосферу.

#### ***Разработка альтернативных видов автотранспорта***

К таковым относятся прежде всего электромобиль, солнечный электрический автомобиль, автомобиль с инерционным двигателем, автомобиль с гибридным двигателем.

**Электромобили.** Весьма перспективным является проект массового перехода от автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями на электромобили, которые действуют от батарей-аккумуляторов, подзаряжаемых на станциях.

Электромобили бездымны, бесшумны, их выделения не токсичны, они просты в управлении, а эксплуатация значительно экономичнее, особенно в городах. Этому способствует большой среднесуточный пробег автомобилей в городе, скорости и возможность организации сети зарядных станций для батарей-аккумуляторов. Такой автомобиль — идеальный для городов вид транспорта.

Любопытна история создания электромобиля. Первый электрический экипаж с первичным химическим источником тока (ХИТ) был создан еще в 1837 г., а уже в 1880 г. был изготовлен первый в мире аккумуляторный электромобиль. Его 28 свинцовых аккумуляторов обеспечивали автомобилю скорость 13 км/ч. В следующем году во Франции начал действовать пятиместный электромобиль коммерческого назначения. В Англии электромобиль появился в 1888 г., он оказался способным пройти около 9 тыс. км со средней скоростью 12 км/ч. В 1900 г. в Германии начали

эксплуатироваться электробусы. В 1902 г. был создан микроэлектробус на 12 мест с запасом хода 140 км, способный развить скорость до 36 км/ч. Известно, что в 1912 г. во всем мире было около 30 тыс. электромобилей.

Однако электромобили того времени, характеризуясь низкими эксплуатационными показателями и конструкционными недостатками, были быстро вытеснены автомобилями с двигателями внутреннего сгорания.

Главными недостатками современного электромобиля, особенно со свинцово-кислотными аккумуляторными батареями, являются: ограниченный ресурс пробега, большая масса, малый срок службы источника тока и общая высокая стоимость.

Для электромобиля, соответствующему современному массовому автомобилю с ДВС, необходима мощность двигателя около 15 кВт, что обеспечивает аккумуляторная батарея массой порядка 300 кг. Она позволит выполнить до перезарядки батареи пробег до 80 км со скоростью 40—60 км/ч.

После мирового энергетического кризиса 1973 г. во многих странах мира развернулись исследования с целью разработки перспективных типов батарей, которые превосходят по энергоемкости наиболее распространенные свинцово-кислотные, а также создания новых накопителей энергии — ультраконденсаторов и топливных элементов (или электрохимических генераторов ЭХГ).

Требования к указанным ХИТ изменяются в зависимости от назначения электромобиля, его типа, а также от оценки перспектив и масштабов их применения. Так, Департамент энергетики США установил систему целевых параметров батарей для электромобилей на ближайшее будущее, способных обеспечить запас хода 4-местного автомобиля в городских условиях 100 миль (161 км) и ускорение от 0 до 48 км/ч за 8 с.

В ряде случаев перспективно для получения электричества использовать электрохимические генераторы (ЭХГ) или топливные элементы, которые способны химическую реакцию окисления водорода кислородом на катализаторе преобразовывать в электрическую, но без сгорания. Они практически не выделяют вредных веществ и обладают относительно небольшой массой.

Еще одно достоинство двигателя на топливных элементах — высокий КПД. Для обычных двигателей, которые работают на бензине и дизельном топливе, он составляет 25–45%, КПД же топливных элементов — 70% и выше.

По мнению специалистов, применение топливных элементов, обладающих высокой удельной энергией и достаточно большим сроком службы, позволит устранить наиболее существенный недостаток электромобиля — малый запас хода.

Перспективы массового применения электромобилей определяются успехами в решении проблем увеличения запаса хода (пробег между зарядами аккумулятора или заменой реагентов), снижения стоимости, повышения экономичности и создания системы сервисного их обслуживания. Укажем также на необходимость резкого увеличения резервных мощностей

электростанций, поскольку они недостаточны, если потребуется в перспективе ежедневная подзарядка многих миллионов электромобилей.

**Солнечный электромобиль.** Он представляет собой комплекс, включающий электрическую систему и солнечный коллектор, который обеспечивает перезарядку аккумуляторной батареи во время его движения или стоянки. Такие автомобили постоянно совершенствуются, отдельные модели существенно отличаются по конструкции, дизайну и рабочим характеристикам. Все они имеют солнечный коллектор, который поглощает солнечное излучение и превращает его в электричество. Оно «хранится» в батарее до тех пор, пока не потребуется для приведения в действие электродвигателя.

Солнечные автомобили уже сейчас имеют характеристики, которые вполне привлекательны для потребителей. Например, автомобиль «Санрайдер» (г. Кардифф, Великобритания) весит всего 90 кг, развивает скорость до 30 км/ч и использует электричество, вырабатываемое 300 солнечными батареями.

С теоретической точки зрения солнечный автомобиль должен бы двигаться очень долго, так как единственным необходимым для него топливом является солнечный свет. Однако серьезным недостатком остается невозможность движения ночью или днем в условиях сплошной облачности.

**Автомобиль с инерционным двигателем.** В качестве накопителя энергии используется не аккумулятор, а маховик. Такое нововведение позволяет обойтись без двигателя, коробки скоростей, радиатора, стартера и выхлопной трубы. Электроток от стационарного источника используется для раскрутки супермаховика из легких, но прочных на разрыв углеродных волокон. Когда он наберет обороты, напряжение отключается. Однако вращение продолжается несколько часов, поскольку супермаховик заключен в герметичную капсулу, из которой выкачан сопротивляющийся воздух, а магнитный подшипник устраняет трение в подшипниках. Эксперименты в этой области показывают, что автомобиль с супермаховиком способен разогнаться до 96,5 км/ч всего за 6,5 с. Пробег без подзарядки также обещает быть впечатляющим — до 6000 км.

**Автомобили с гибридными двигателями.** Предпринимаются активные усилия по устранению недостатков электромобилей и солнечных автомобилей путем создания так называемых гибридных автомобилей.

Идея одного из таких проектов состоит в следующем. Бензин из бензобака попадает в подогреваемый испаритель, а потом сгорает в первом реакторе. Благодаря ограниченному доступу воздуха топливо частично окисляется, образуя водород и оксид углерода CO. Во втором промежуточном реакторе CO взаимодействует с водяным паром и в присутствии катализатора превращается в диоксид углерода CO<sub>2</sub> и дополнительный водород. А завершается процесс реформинга в третьем реакторе. В результате из бензина получается водород, преобразуемый топливными элементами в электричество, а попутно — диоксид углерода, вода и азот. Рабочая температура системы 80° С, избыточное тепло удаляется

обычным автомобильным радиатором. Расход бензина не превышает 3 л на 100 км.

В Швеции создан 15-тонный грузовик, в двигателе которого соединены электромотор и газовая турбина. Электромотор используется на улицах города, чтобы не загрязнять атмосферу, а турбина — на загородных шоссе. Двигатель достаточно мощный — 170 л. с, что позволяет грузовику развивать скорость 110 км/ч. Газовая турбина работает на этаноле, вредность выхлопных газов при этом в 10 раз меньше, чем от машин с поршневым мотором. А в качестве горючего могут быть использованы также метанол, бензин, дизельное горючее, рапсовое масло и природный газ. Ведущие фирмы по производству автомобилей все более энергично продвигают на мировой рынок автомобили с гибридными двигателями. Так, концерн «Тойота» (Япония) планирует построить в Китае, где относительно дешевая рабочая сила, завод по производству 500 тыс. автомобилей с бензоэлектрическими двигателями. Предполагалось к 2010 г. довести выпуск таких автомобилей до 1 млн. штук. Компания «Форд» (США) сообщила о намерении в течение ближайших 4-х лет довести выпуск гибридных автомобилей до 250 тыс. штук, что составит около 8% от всех выпускаемых автомобилей.

## Глава 6. Экология горнодобывающей промышленности.

### 6.1. Природный горно-промышленный комплекс – объект изучения горной экологии

Источниками воздействия горного производства на окружающую природную среду являются открытые и подземные горные работы, обогатительные фабрики, отвалы и хвостохранилища и др. Масштабы этого воздействия определяются производственной мощностью предприятия, состоянием применяемого оборудования, совершенством технологических процессов, уровнем технологической дисциплины, размерами горного и земельного отводов, географическими и климатическими условиями и другими факторами. И хотя предприятия горно-добывающей промышленности в целом оказывают значительное воздействие на окружающую среду, влияние отдельного горного предприятия территориально относительно ограничено.

Таким образом, объектом горной экологии в современных условиях является *природный горно-промышленный комплекс*.

Под *территориальным горно-промышленным комплексом* понимается совокупность предприятий и производств различных отраслей промышленности, эксплуатирующих месторождения полезных ископаемых, интегрированная в единое целое тесными и устойчивыми производственно-технологическими связями и участвующая в достижении конкретных результатов, которые являются элементами конечных народнохозяйственных целей.

*Понятие «природный горно-промышленный комплекс»* более точно, чем вышеприведенные формулировки, отражает главенствующую роль горного предприятия, его связи с окружающей средой, природными ресурсами и предприятиями, входящими в состав комплекса.

Под *природным горно-промышленным комплексом* следует понимать объединение вокруг горного предприятия других промышленных предприятий (в том числе и других отраслей народного хозяйства), позволяющее экономически эффективно использовать природные, материальные и людские ресурсы и минимизировать воздействие промышленного производства на окружающую среду.

Деятельность комплекса может быть представлена в виде системы эколого-экономических моделей, удовлетворяющих следующим требованиям:

- ◆ система должна охватывать все причинно-следственные связи, существующие в комплексе;
- ◆ система должна включать замкнутые контуры, образуемые на основе прямых и обратных связей между элементами комплекса;
- ◆ система должна включать совокупность формальных и неформальных критериев, позволяющих принять социально-экономические и экологически согласованные решения относительно целевых установок по качеству окружающей среды на территории комплекса;

- ◆ система должна включать совокупность формальных и содержательных моделей оценки и выбора средств и методов поддержания окружающей среды в требуемом состоянии;

- ◆ все входящие в систему эколого-экономические модели должны иметь динамический характер.

Возможны несколько вариантов организации природного горно-промышленного комплекса, например, на базе угольного предприятия:

а) создание производственной кооперации на основе использования угля в качестве энергетического топлива и переработки отходов, получаемых при его добыче и сжигании. Составными частями такой кооперации должны быть шахта (разрез), электростанция и производство по переработке золы или шахтной породы. В этом случае шахте будет обеспечен устойчивый сбыт добываемого угля и занятость рабочих, электростанция - снижение затрат на производство электроэнергии за счет отнесения части расходов на реализуемые отходы (золу), предприятиям по переработке отходов - повышение эффективности производства за счет использования более дешевого сырья по сравнению с первичным;

б) создание производственной кооперации на основе использования угля в качестве технологического сырья. Составными частями кооперации должны быть шахта (разрез) и предприятие по переработке угля в новый вид продукции. При такой кооперации шахта будет иметь устойчивый сбыт добываемого угля, а предприятие - производить продукцию с новыми потребительскими свойствами и более высокой стоимости, чем уголь;

в) создание производственной кооперации на основе использования твердых отходов. Составными частями кооперации должны быть обогатительные фабрики или электростанции и производства строительных материалов. В этом случае обогатительная фабрика или теплоэлектростанция снизит затраты на выработку основной продукции на сумму, вырученную от реализации отходов, а предприятие по производству строительных материалов улучшит результаты хозяйственной деятельности за счет использования более дешевого сырья.

Наиболее эффективным организационным решением для обеспечения производственной деятельности природного горно-промышленного комплекса является создание акционерного общества открытого типа, в составе которого будут действовать дочерние акционерные общества с соответствующими направлениями деятельности: добыча угля, производство электроэнергии, переработка отходов и пр.

## **6.2. Воздействие горного производства на окружающую среду**

Для всех способов разработки месторождений характерно воздействие на биосферу, затрагивающее практически все ее элементы: водный и воздушный бассейны, землю, недра, растительный и животный мир.

Это воздействие может быть как непосредственным (прямым), так и косвенным, являющимся следствием первого. Размеры зоны распространения косвенного воздействия (зона II) значительно превышают размеры зоны локализации прямого воздействия (зона I), и, как правило, в

зону II попадает не только элемент биосферы, подвергающийся непосредственному воздействию, но и другие элементы.

В процессе горного производства образуются и быстро увеличиваются пространства, нарушенные горными выработками, отвалами пород и отходов переработки и представляющие собой бесплодные поверхности, отрицательное влияние которых распространяется на окружающие территории.

В связи с осушением месторождения и сбросом дренажных и сточных вод (отходов переработки полезных ископаемых) в поверхностные водоемы и водотоки резко изменяются гидрологические условия в районе месторождения, качество подземных и поверхностных вод. Атмосфера загрязняется пылегазовыми организованными и неорганизованными выбросами и выделениями различных источников, в том числе горных выработок, отвалов, перерабатывающих цехов и фабрик. В результате комплексного воздействия на указанные элементы биосферы существенно ухудшаются условия произрастания растений, обитания животных, жизни человека. Недра, являясь объектом и операционным базисом горного производства, подвергаются наибольшему воздействию. Так как недра относятся к элементам биосферы, не обладающим способностью к естественному возобновлению в обозримом будущем, охрана их должна предусматривать обеспечение научно обоснованной и экономически оправданной полноты и комплексности использования.

Воздействие горного производства на биосферу проявляется в различных отраслях народного хозяйства и имеет большое социальное и экономическое значение. Так, косвенное воздействие на земли, связанное с изменением состояния и режима грунтовых вод, осаждением пыли и химических соединений из выхлопов в атмосферу, а также продуктов ветровой и водной эрозии, приводит к ухудшению качества земель в зоне влияния горного производства. Это проявляется в угнетении и уничтожении естественной растительности, миграции и сокращении численности диких животных, снижении продуктивности сельского и лесного хозяйства, животноводства и рыбного хозяйства.

В настоящее время не представляется возможным дать сравнительную количественную оценку влияния на окружающую среду горного производства и других видов деятельности человека, поскольку отсутствуют научно-методические основы для такого сравнения. Применение же различных частных критериев не позволяет получить однозначный ответ на этот вопрос. Так, если сравнивать абсолютные затраты на строительство очистных сооружений в цветной и черной металлургии, теплоэнергетической и горно-добывающей промышленности США, то наибольшие затраты приходятся на теплоэнергетику. По относительной доле этих затрат в общих капиталовложениях на первое место выходит цветная металлургия. По общим затратам на борьбу с загрязнением окружающей среды в США, например, лидирует целлюлозно-бумажная промышленность, далее идет энергетика, цветная и черная металлургия. Однако эти критерии не

учитывают всех аспектов прямого и косвенного воздействия горного производства на окружающую среду и поэтому не могут считаться достаточно объективными.

Горное производство оказывает наиболее широкое воздействие на биосферу, затрагивающее практически все ее элементы. В то же время воздействие некоторых видов деятельности на отдельные элементы биосферы проявляется более интенсивно.

Классификация воздействия горного производства на окружающую среду по отдельным элементам биосферы приведена в табл. 6.1.

На современном этапе развития отечественной и зарубежной науки и техники месторождения твердых полезных ископаемых разрабатываются в основном тремя способами: открытым (физико-техническая открытая геотехнология), подземным (физико-техническая подземная геотехнология) и через скважины (физико-химическая геотехнология). В будущем значительные перспективы имеет подводная добыча полезных ископаемых со дна морей и океанов.

Таблица 6.1.

### Основные виды и результаты воздействия горного производства на биосферу

Элементы биосферы	Воздействие на элементы биосферы	Результаты воздействия
Водный бассейн:  воды подземные  воды поверхностные	Осушение месторождения, сброс сточных и дренажных вод  Осушение и перенос поверхностных водоемов и водотоков, сброс сточных и дренажных вод, водозабор для технических и бытовых нужд предприятий.	Уменьшение запасов подземных, грунтовых и поверхностных вод. Нарушение гидрогеологического и гидрологического режимов водного бассейна  Загрязнение водного бассейна сточными и дренажными водами. Ухудшение качества вод в результате неблагоприятных изменений гидрохимических и биологических режимов поверхностных и подземных вод
Воздушный бассейн	Организованные и неорганизованные выбросы в атмосферу пыли и газов	Загрязнение (запыление и загазовывание) атмосферы
Земли, почвы	Проведение горных выработок, сооружений отвалов, гидроотвалов, хвосто- и водохранилищ. Строительство промышленных и гражданских зданий и сооружений. Прокладка дорог и других видов коммуникаций	Деформации земной поверхности. Нарушение почвенного покрова. Сокращение площадей продуктивных угодий различного назначения. Ухудшение качества почв. Изменение облика территории. Изменение состояния грунтовых и поверхностных вод. Осаждение пыли и химических соединений вследствие выбросов в атмосферу. Эрозионные процессы
Флора и фауна	Промышленное и гражданское строительство. Вырубка лесов. Нарушение почвенного покрова. Изменение состояния грунтовых и поверхностных вод. Запыление и загазовывание атмосферы. Производственные и бытовые шумы	Ухудшение условий обитания лесной, степной и водной флоры и фауны. Миграция и сокращение численности диких животных. Угнетение и сокращение видов дикорастущих растений. Снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Снижение продуктивности животноводства, рыбного и лесного хозяйства

Недра	Проведение горных выработок. Извлечение полезных ископаемых, вмещающих и вскрышных пород. Осушение месторождения. Обводнение участков месторождений. Возгорание полезных ископаемых и пустых пород. Захоронение вредных веществ и отходов производства. Сброс сточных вод	Изменение напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Снижение качества полезных ископаемых и промышленной ценности месторождений. Загрязнение недр. Развитие карстовых процессов. Потери полезных ископаемых
-------	---	---

Наиболее сильное воздействие на окружающую среду оказывают открытые горные работы, наименьшее - геотехнологический способ добычи.

### 6.3. Охрана воздушного бассейна в горнодобывающей промышленности

Горное производство вызывает два вида загрязнений атмосферного воздуха: запыленность и загазованность. Количество выбросов, их объем и вещественный состав определяются источниками загрязнения. В табл. 6.2. приведены данные о видах и источниках загрязнения при открытом и подземном способах разработки.

Существенная роль в загрязнении воздушного бассейна принадлежит обогатительным фабрикам и цехам переработки добытых полезных ископаемых, хвостохранилищам и шламоулавливателям.

Таблица 6.2.

Источники и виды загрязнения воздушного бассейна при открытом и подземном способах разработки

Способ разработки	Загрязнение	Источник загрязнения
Подземный	Пылегазовое Пылевое Газовое	Рудничный воздух из подземных выработок Эрозия поверхности отвалов и терриконов; погрузочно-транспортные работы Самовозгорание угля и пород в отвалах и терриконах
Открытый	Пылевое Газопылевое Газовое	Эрозия поверхности отвалов и уступов Массовые взрывы Автотранспорт с двигателями внутреннего сгорания

Установлено, что загрязнение воздуха в районе горных предприятий зависит от климатических и горно-геологических условий разработки месторождений полезных ископаемых, параметров горных выработок, отвалов и других техногенных образований, их расположения относительно господствующего направления ветров. При сухом континентальном климате, особенно при сильных ветрах создаются условия для интенсификации поступления в приземные слои атмосферы и перемещения в них пылегазовых загрязнителей. В этих условиях интенсификации пылегазовыделений

благоприятствуют: иссушение нарушенных и подверженных эрозии поверхностей разрабатываемых пород и полезных ископаемых, активизация самовозгорания пород и полезных ископаемых как в массиве, так и в разрушенном состоянии. Следует учитывать, что в процессе горения горные породы разрушаются, при этом образуются тонкодисперсные фракции, легко подвергаемые ветровой эрозии. Это способствует еще большему запылению воздуха и загрязнению его токсичными веществами, накапливающимися в виде продуктов горения и окисления.

В зимний период увеличению запыленности способствует низкое естественное содержание влаги в воздухе. В условиях влажного климата при большом количестве осадков, как в летний, так и в зимний период содержание пыли в воздухе значительно уменьшается за счет связывания тонкодисперсных частиц на поверхности техногенных образований и вымывания пыли из воздуха.

Выделяются неорганизованные (рассредоточенные) и организованные (сосредоточенные) выделения или выбросы в атмосферу. К группе неорганизованных относятся: выделения, определяемые ветровой эрозией (дефляцией) нарушенных участков земной поверхности, в том числе открытых горных выработок, отвалов, складов, хвосто- и шламохранилищ; химические газовыделения по всей технологической цепи горного производства при буровзрывных работах, экскавации, транспортировании, погрузочно-разгрузочных работах на складах добытого полезного ископаемого и пр. Источники неорганизованных выбросов рассредоточены на относительно больших территориях. Их расположение, параметры (площадь, объемы) могут определяться во времени и пространстве. Ряд источников неорганизованных пылегазовыделений обладает периодичностью действия. Эта периодичность, а также интенсивность пылегазовыделений зависят от природно-климатических условий (скорости ветра, количества и периодичности выпадения атмосферных осадков, температуры воздуха, мощности снежного покрова и пр.), расположения источников пылегазовыделений по отношению к розе ветров. Уже при скорости ветра 2 м/с сухая пыль сдувается с поверхности техногенных образований и переносится на значительные расстояния.

Одним из интенсивных источников загрязнения атмосферы периодического действия, определяемого технологическими причинами, является массовый взрыв на карьере. Количество выбрасываемых в атмосферу пыли и газов зависит от объема взрывааемых пород и количества взрывчатых веществ. При массовых взрывах образуется пылегазовое облако объемом 15-20 млн м<sup>3</sup>. Высота подъема выбросов определяется сотнями метров, достигая 1500-1600 м. Пылегазовое облако распространяется на значительные расстояния от места взрыва. При массовых взрывах в карьерах Криворожского железорудного бассейна концентрация пыли в воздухе на расстоянии 1 -1,5 км в течение часа составляет 6-10 мг/м<sup>3</sup>, что в 15-20 раз превышает предельно допустимые концентрации для населенных пунктов.

Исследованиями состояния воздуха в районах карьеров на различных месторождениях полезных ископаемых установлено, что из пылегазового облака, образованного при массовых взрывах, в течение 1-4 ч в радиусе 2-4 км рассеивается от 200 до 500 т мелкодисперсной пыли, содержащей 93,6-99,6 % частиц размером менее 5 мкм. Значительное количество мелкодисперсной пыли образуется также при бурении взрывных скважин (до 93,3 %) и при погрузке горной массы (до 98,4 %).

Формирование высоких отвалов создает условия для проявления более интенсивной ветровой эрозии и приводит к значительному запылению прилегающих территорий. С каждого гектара поверхности отвалов, сложенных породами легкого механического состава, ежегодно выносятся за пределы этих земель от 200 до 500 т пыли. Площадь запыления составляет 500 га на 1 га отвальной поверхности. При этом в расчетах рекомендуется принимать, что 50 % откладывается на землях, прилегающих к отвалам, а 50% пыли длительное время перемещается с воздушными потоками.

Одним из основных источников запыления атмосферы при производстве горных работ являются внутрикарьерные дороги. Подсчитано, что их «вклад» в пылеобразование в отдельных случаях достигает 80-90 % общего пылевого баланса карьеров. Запыленность воздуха в районе карьерных дорог в среднем составляет  $100 \text{ мг/м}^3$ .

Подсчитано, что в атмосферу Земли из подземных горных выработок шахт и рудников ежегодно поступает около 0,2 млн т пыли. Подхваченная воздушными потоками от неорганизованных и организованных источников пыль затем выпадает на почву, воду и загрязняет их.

Особую опасность представляет пыль, содержащая токсичные металлы: в первую очередь ртуть, свинец, мышьяк, селен, затем кадмий, никель, молибден, цинк, марганец, ванадий, бериллий, теллур и др.

В штате Миссисипи (США) концентрация металлов в верхнем слое почвы в районе горных предприятий достигла: свинца -  $2762 \text{ мг/м}^3$ , цинка -  $95,1 \text{ мг/м}^3$ , меди -  $17,1 \text{ мг/м}^3$ , кадмия -  $2,3 \text{ мг/м}^3$ . В Великобритании, в Уэльсе, концентрация вредных металлов в почвах прилегающих к горным предприятиям территорий превысила фоновые значения: свинца в 90, цинка в 31, кадмия в 15 раз.

Значительное количество загрязняющих атмосферу газов поступает при производстве подземных горных работ. Через различные вентиляционные выработки и сооружения в атмосферу выбрасываются ядовитые газы: углекислый газ, метан, ароматические углеводороды, сернистые газы, сероуглерод и прочие загрязняющие вещества, проникающие в горные выработки из разработанных массивов пород и образующиеся при взрывных работах. По данным специалистов, добыча угля в количестве 2 млрд т в год примерно из 4 тыс. шахт в различных странах мира сопровождается выделением около 27 млрд  $\text{м}^3$  метана ( $\text{CH}_4$ ) и 16,8 млрд  $\text{м}^3$  углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ). Известны случаи катастрофических выбросов газа при подземной разработке месторождений полезных ископаемых за рубежом (1879 г., Монс, Бельгия - 750 тыс.  $\text{м}^3 \text{CH}_4$ ; 1941 г., Германия, Нижняя Силезия

— 800 тыс. м<sup>3</sup> CO<sub>2</sub>). В Донбассе на глубине 710 м произошел выброс метана в объеме 250 тыс. м<sup>3</sup>.

К источникам интенсивного загрязнения воздуха вредными газами относятся запожаренные участки карьеров, терриконов и отвалов. При этом выделяемые газы характеризуются высокой концентрацией вредных ядовитых веществ - оксидов углерода, серы, азота и др. Горящие породные отвалы выделяют от 5,3 до 22,6 кг/год оксида углерода на 1 т породы. Самовозгорание породных отвалов и терриконов наиболее характерно для угольных месторождений, где полезное ископаемое характеризуется выходом летучих веществ свыше 20 % и содержанием серы более 3 %. Установлено, что выделение газов с удельной поверхности такого породного отвала достигает 180 м<sup>3</sup>/ч.

При открытых разработках существенным источником загрязнения атмосферы является автотранспорт. Основные загрязняющие вещества в выхлопных газах включают оксиды углерода и азота, углеводороды, сернистые газы, альдегиды. Отработанные газы двигателей, работающих на бензине, содержат свинец, хлор, бром, иногда фосфор. От дизельных двигателей в атмосферу поступает значительное количество сажи и копоти в виде аэрозолей.

Таким образом, загрязнение атмосферного воздуха горным производством как по масштабу, так и интенсивности воздействия имеет локальный характер, и только в крупных, освоенных горно-добывающих районах - региональный.

**Мероприятия по охране воздушного бассейна.** Они могут быть разделены на две группы:

- ♦ общего характера, способствующие улучшению состояния воздушного бассейна в районе горного предприятия;
- ♦ специальные, непосредственно направленные на предотвращение загрязнения атмосферного воздуха.

В первую группу включены:

- территориально-планировочные мероприятия, предусматривающие размещение объектов горного производства - источников пылегазовыделений с учетом природно-климатических условий местности, прежде всего розы ветров, а также планомерность нарушения и восстановления земель;
- мероприятия по уменьшению площадей эродируемых техногенных поверхностей посредством оптимизации параметров техногенных образований: открытых горных выработок, отвалов различного рода, в том числе терриконов, хвостохранилищ, складов минерального сырья и пр.;
- рекультивация нарушенных земель для использования их в народном хозяйстве, обеспечивающая предотвращение ветровой эрозии;
- утилизация отходов горного производства, комплексное использование минеральных ресурсов, способствующие уменьшению как площадей эродируемых поверхностей, так и объемов пылегазовыделений.

Ко второй группе отнесены мероприятия:

- по улучшению качества воздуха непосредственно в зоне горных работ путем предотвращения или снижения пылегазовыделений различными объектами в технологической цепи производства;
- по улавливанию, отводу и очистке пылегазовых выделений и выбросов;
- межотраслевого характера, например, по улучшению газового баланса отработанных горюче-взрывчатых веществ и т.д.

Причем для тех или иных объектов или источников загрязнения атмосферы могут применяться как отдельные средства и способы, так и их комбинации.

Для борьбы с эрозией поверхностей уступов отвалов и хвостохранилищ эффективно применяют механические, биологические и физико-химические методы.

Анализ известных способов и путей снижения вредного воздействия массовых взрывов на окружающую среду показывает, что все известные технические решения можно условно отнести к пассивным способам защиты окружающей среды при взрывах в карьерах и разделить на следующие три группы:

- ◆ способы предупреждения образования пылегазового облака (ПГО),
- ◆ способы подавления ПГО,
- ◆ способы утилизации ПГО.

К первой группе относятся: применение малогазовых типов ВВ и управление действием взрыва, повышение прочности забойки скважин, снижение массы заряда ВВ в скважине, снижение числа взрывных скважин в блоке, снижение величины перебура в скважине, уменьшение диаметра скважины и пр.

Во вторую группу входят: гидрозабойка и гидрогелевая забойка скважин, гидроорошение и покрытие взрываемого блока пеной, гидроминное взрывание, подавление ПГО водо-воздушными струями карьерных вентиляторов и др.

К способам утилизации (третья группа) следует отнести гидрообеспыливание, пылеулавливание и дегазацию взорванных блоков в карьере.

В районах с низкими температурами одним из возможных способов снижения пылеобразования в технологических процессах является применение воды в твердом агрегатном состоянии в виде мелких ледяных кристаллов и снежинок. Механизм пылеулавливания основан на проявлении адгезионных свойств пыли и снежинок, а также на действии квазижидкого слоя ледяных кристаллов. Для этой цели может быть использован также естественный и искусственный снег. Последний получают при помощи стационарных или передвижных генераторов. Оптимальный расход снега, обеспечивающий снижение запыленности до санитарных норм в течение смены, составляет  $2 \text{ кг/м}^3$ .

Для очистки от вредных газообразных примесей воздуха, выбрасываемого в атмосферу из подземных горных выработок, устанавливают специальные очистные устройства. Для снижения газовых

выделений при проведении технологических операций осуществляют изоляцию выработанного пространства, дизельную технику заменяют машинами и оборудованием с электроприводом.

Перспективной является утилизация метана, выносимого из шахт вентиляционными потоками. В настоящее время складываются два направления, одно из которых предусматривает отделение газа от общего воздушного потока с доведением газа до необходимой концентрации и последующим сжиганием в топках котельных, а второе - максимальный отбор газа (метана) из угольных пластов и пород с помощью их предварительной дегазации и использование дегазационной смеси в топках котельных при максимальном обеспыливание в местах ее образования.

Проводятся мероприятия по предупреждению пожаров на карьерах и разрезах, возгорания пород в отвалах и терриконах, приводящих к выделению в атмосферу значительных объемов газообразных продуктов.

К средствам противопожарной профилактики можно отнести:

- ♦ предварительное увлажнение пластов посредством принудительного нагнетания в них воды или специальных антипирогенных растворов;
- ♦ полное извлечение из недр полезных ископаемых и горных пород, склонных к самовозгоранию;
- ♦ отработку вскрытых полезных ископаемых со скоростью, предупреждающей опасность аккумуляции тепла в нарушенном массиве;
- ♦ взрывание скважин, пробуренных в породах, склонных к быстрому самовозгоранию, до момента развития в них интенсивного пирогенного процесса;
- ♦ применение пожаробезопасных систем разработки.

#### **6.4. Влияние горного производства на гидросферу.**

Воздействие горного производства на водный бассейн проявляется в изменении водного режима, загрязнении и засорении вод.

**Изменение водного режима.** При строительстве и эксплуатации карьеров и разрезов, рудников и угольных шахт, подземных транспортных и коммунальных туннелей и других сооружений существенные осложнения возникают из-за наличия подземных и поверхностных вод: происходят деформации горных выработок, снижается производительность оборудования, усложняется производство буровзрывных работ.

Поэтому отличительной особенностью горного производства является необходимость осушения месторождений полезных ископаемых. С этой целью с территорий намечаемых к разработке месторождений или их участков переносятся поверхностные водоемы и водотоки, и выполняются мероприятия по защите горных выработок от обводнения их подземными водами. Основным способом осушения зоны горных работ является **водопонижение** путем проведения различных горных выработок, откачки или отвода самотеком, а затем сброса значительных объемов подземных вод в гидрографическую сеть за пределы разрабатываемого участка.

Современный уровень развития техники и технологии водопонижения позволяет успешно решать эту проблему при освоении месторождений со сложными гидрогеологическими условиями.

В практике обычно используют три способа водопонижения - с поверхности, подземный и комбинированный. Первый способ предусматривает сооружение дренажных устройств (скважин, канав, иглофильтров) непосредственно на земной поверхности. При подземном способе средства водопонижения располагают в горных выработках. В последние годы при проходке подземных выработок в обводненных и неустойчивых породах плавунного типа с низким коэффициентом фильтрации используют забойное водопонижение, заключающееся в том, что в забое в горную породу на различную глубину погружают иглофильтры. С помощью рукавов иглофильтры подключают к водосборному коллектору, в котором поддерживают достаточно глубокий вакуум, позволяющий всасывать через иглофильтры воду из породенного грунта. Комбинированный способ является сочетанием способа водопонижения с поверхности и подземного и реализуется, как правило, в два этапа. Вначале с поверхности производится предварительное снижение уровня грунтовых вод, а затем вводится в эксплуатацию система подземного водопонижения.

Естественный режим подземных вод нарушается с момента вскрытия технологическими горными или дренажными выработками первого от поверхности водоносного горизонта и после откачки из него воды. При этом запасы подземных вод сокращаются, а состояние и качество поверхностных вод существенно ухудшаются. На значительной площади месторождения образуется депрессионная воронка, размеры которой зависят как от геологических и гидрогеологических условий района месторождения, так и от продолжительности его разработки.

При водоотливе наиболее низкий уровень подземных вод в зоне горных работ приходится на забой проходимой выработки. С углублением выработки понижается и уровень подземных вод. В результате водопонижения уровень подземных вод снижается на площади, превышающей площадь разработки месторождения иногда в десятки и сотни раз (Микашевичский карьер нерудных материалов).

На некоторых месторождениях в пределах воронки депрессии создается гидравлическая связь нескольких напорных водоносных горизонтов, что приводит к переливу вод из вышерасположенных горизонтов в нижние. Как правило, воронка депрессии при этом захватывает водоносные горизонты со свободной поверхностью (безнапорные горизонты) и грунтовые воды, которые имеют гидравлическую связь с поверхностными водами. Это способствует активизации инфильтрации, что приводит к подпитке подземных водоносных горизонтов поверхностными водами. Поэтому размеры депрессионной воронки зависят от наличия и расположения поверхностных водоемов и водотоков: чем ближе поверхностные воды к зоне разработки, тем меньше радиус депрессионной воронки.

Осушение месторождения приводит к резкому изменению естественного режима подземных и поверхностных вод. На поверхности земли нарушения состояния подземных и поверхностных вод проявляются в полном осушении заболоченных участков, уменьшении запасов вод в поверхностных водоемах и водотоках, осушении колодцев и неглубоких водозаборных скважин, иссякании источников, исчезновении небольших ручьев и рек. При прекращении откачек в связи с завершением горных работ со временем депрессионные воронки исчезают и режим подземных вод восстанавливается. Восстанавливается также уровень вод в колодцах и водозаборных скважинах. В большинстве случаев возрождаются поверхностные водоемы и водотоки. Однако восстановление режима и состояния подземных и поверхностных вод зависит от масштабов нарушений. Если при подземном способе разработки восстановительные процессы протекают относительно быстро, то при открытой разработке месторождений эти процессы зависят от глубины и состояния карьеров, заполнения выработанного пространства вскрышными породами, направления рекультивации.

Мероприятия по охране природных вод особенно актуальны для открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых со сложными гидрогеологическими условиями, так как если при подземном способе разработки водоприитоки с водоносных горизонтов, залегающих выше зоны добычных работ, могут быть локализованы, то при открытом способе вскрываются все водоносные горизонты, залегающие в разрабатываемой толще пород, и сами горные выработки обладают дренирующим эффектом. В связи с большими размерами карьеров и интенсивностью водопонижения при открытых разработках размеры депрессионных воронок достигают огромных значений, охватывая обширные прилегающие территории. Размер воронок депрессии или радиус влияния осушенных выработок зависит от коэффициента фильтрации, водоотдачи, площади и мощности осушаемого пласта, напоров, понижения уровня, площади питания, количества дренажных точек, их взаимного расположения, типа и расположения горных выработок, продолжительности и интенсивности водоотбора, динамического притока вод в горные выработки и некоторых прочих факторов. Наибольшие размеры воронок депрессии характерны для трещиноватых и закарстованных обводненных пород. В начальный период откачки или дренажа подземных вод, когда только формируется воронка депрессии в условиях неустановившегося их движения, срабатываются статические запасы подземных вод, т.е. вод, накопившихся в водоносных пластах горных пород в течение длительного периода времени. По мере понижения уровня подземных вод и срабатывания их запасов в водоносных горизонтах, из которых непосредственно производится откачка, постепенно вовлекаются в работу и динамические ресурсы подземных вод, т.е. вод, поступающих из области питания, из боковых зон осушаемого пласта и из других водоносных горизонтов, имеющих с осушаемыми толщами гидравлическую связь. После стабилизации расхода и дина-

мического уровня основная масса подземных вод поступает со стороны постоянных источников питания. При этом величина водопритоков полностью определяется местными природными условиями: орографическими, геологическими, гидрогеологическими, климатическими и пр. Соотношение объемов статических и динамических запасов зависит от их ресурсов в области питания.

При осушении месторождений, особенно при открытых горных работах, прежде всего истощаются запасы высококачественных пресных вод, которые должны использоваться в основном для коммунального хозяйственно-питьевого водоснабжения. Попадая в систему дренажных канав, водосборников и коллекторов, пресные воды загрязняются и приобретают свойства «рудничной воды», а затем загрязняют поверхностные воды. При срабатывании динамических ресурсов подземных вод возникает опасность загрязнения пресных вод минерализованными, что может привести к снижению их качества или сделать вообще непригодными для питьевого использования.

Сброс сдренированных подземных вод, содержащих повышенное количество химических элементов или соединений, при недостаточной очистке приводит к загрязнению поверхностных вод в еще большей степени. Значительный ущерб народному хозяйству наносится при истощении запасов вод, обладающих бальнеологическими свойствами.

Срабатывание запасов подземных вод, приуроченных к горизонтам, представленным выщелачиваемыми или растворимыми породами, может привести к значительным изменениям инженерно-геологической обстановки. Процессы выщелачивания и последующего карстообразования активизируются как из-за изменения режима вод данного горизонта, так и в связи с уменьшением их минерализации за счет проникновения пресных вод из вышележащих горизонтов или области питания.

Существенное влияние на режим и состояние поверхностных, грунтовых и подземных вод оказывают отвалы и гидротехнические сооружения горных предприятий (гидроотвалы, хвосто- и шламохранилища, водохранилища и пр.). Крупноплощадные отвалы обладают большой площадью водосбора. Воды атмосферных осадков, стекающие с поверхности отвалов или профильтровавшиеся через толщу пород, загрязняются и засоряются и, в свою очередь, загрязняют и засоряют поверхностные водоемы и водотоки. Инфильтрация вод в основании отвалов и гидротехнических сооружений приводит, как правило, к подъему уровня грунтовых вод и заболачиванию прилегающей территории по контуру этих сооружений, а также к подпитке подземных водоносных горизонтов, особенно верхних. На горных предприятиях Курской магнитной аномалии инфильтрация из хвостохранилищ препятствует снижению уровня верхнего водоносного горизонта на 50 м. Радиусы подпора при заполнении хвостохранилищ составляют 6-8 км.

**Загрязнение вод.** Для горнодобывающих предприятий в отличие от горноперерабатывающих характерно значительное превышение объемов

сточных вод над объемами водопотребления для обеспечения технологических процессов и удовлетворения других потребностей предприятий. Дренажные воды, а также воды, стекающие с поверхности отвалов, не могут без соответствующей подготовки и очистки включаться в замкнутый цикл горного производства. Основным объемом их должен отводиться. Недоброкачественные рудничные воды при отсутствии очистных сооружений, попадая в поверхностные водоемы и водотоки, загрязняют их. Это отрицательно воздействует на флору и фауну поверхностных вод, а также на флору и фауну лесных и сельскохозяйственных угодий окружающих территорий, санитарно-гигиенические условия местности. Особенно загрязняются дренажные воды угольных месторождений. Выделяются следующие основные загрязняющие вещества в водах, откачиваемых из угольных шахт: взвешенные частицы, главным образом, угольная и породная пыль, частицы глины, хлористые соединения, свободная серная кислота и сопутствующие соли - сульфаты железа, растворенные и взвешенные фенольные соединения, масла. К числу загрязняющих факторов относятся также повышенная температура шахтных вод и канализационные стоки.

Из-за наличия хлористых и сернистых соединений, а также кальция, магния, натрия и калия шахтные воды без предварительной очистки и нейтрализации не могут быть использованы даже в технических целях. Рудничные воды могут содержать соли других тяжелых металлов - меди, цинка, марганца, никеля, ртути, свинца, урана и др. Попадая в поверхностные или подземные воды, загрязняющие вещества включаются в природный круговорот. При благоприятных условиях они накапливаются в почвах, донных отложениях, затем переходят в растительность, организмы животных, а через них и воду - в человека.

Геохимические процессы, протекающие в водоемах и почвах в связи с разработкой месторождений полезных ископаемых, во многом сходны с природными, обусловленными ветровой и водной эрозией, выветриванием горных пород. Однако, если природные процессы протекают медленно, существенно не нарушая равновесия между геосистемами и не ухудшая сложившиеся экологические условия, то в результате техногенной деятельности в связи с резким увеличением загрязняющих веществ это равновесие нарушается и экологическая обстановка резко ухудшается. Вследствие переноса загрязняющих веществ на значительные расстояния локальное воздействие горных предприятий на окружающую среду перерастает в региональное. Особенно велико влияние сброса дренажных вод горных предприятий на сток малых и средних рек, в результате чего он может возрасти в 1,5-3 и более раз. При этом изменяются качество и тепловой режим вод в этих водотоках.

Предприятия горной промышленности США сбрасывают в природные бассейны ежегодно около 7,6 млн м<sup>3</sup> сточных вод. При этом необходимо иметь в виду, что рудничные воды загрязнены, как правило, хлористыми соединениями, сульфатными соединениями железа, меди, марганца и перед

сбросом должны быть очищены. В США почти 10 тыс. км ручьев и рек и около 12 тыс. га водной поверхности загрязнены водами кислого и щелочного состава, поступающими из угольных разрезов, в районе Аппалачей кислотность вод в водотоках на значительном протяжении от мест сброса шахтных вод характеризуется показателем  $pH = 2$ , что приводит эти воды в состояние, не пригодное не только для жизнедеятельности водной фауны, но и для технического использования.

**Засорение иловыми осадками.** При открытой разработке месторождений полезных ископаемых, расположенных в непосредственной близости от берегов озер, морей и океанов, может возникнуть заиливание водного бассейна. Например, значительное ускорение накопления осадков в заливе Сан-Франциско (США) наступило после того как на берегах залива и впадающих в него рек приступили к разработке месторождения золота. За 60 лет было размывто около 2 млрд  $m^3$  породы. Более половины ее осело в заливе и прилегающих к нему водных артериях. Это привело к значительному изменению конфигурации береговой линии и уменьшению площади залива на 11 %.

Таким образом, горное производство оказывает на природные воды прямое и косвенное воздействие. К первой группе относятся виды воздействия непосредственно на водные объекты, приводящие к истощению запасов вод, изменению их режимов, состояния и качества: осушение месторождений, отбор вод для технологических процессов обогащения, гидровскрыши, гидродобычи, сброс дренажных и сточных вод в поверхностные водоемы и водотоки, подземные горизонты и пр. Ко второй группе относятся виды воздействия на другие элементы окружающей среды (землю, воздух, растительность), в результате которых ухудшаются состояние и качество природных вод.

### **6.5. Охрана водного бассейна в горном производстве.**

Под охраной водного бассейна (природных вод) понимается соблюдение установленного порядка пользования водами, т.е. обеспечение рационального управляемого использования, сохранения и восполнения их ресурсов при восстановлении или улучшении их качества в интересах существующих и будущих поколений.

Охрана природных вод осуществляется посредством выполнения комплекса организационных, экономических и инженерно-технических, в том числе технологических, гидротехнических, лесомелиоративных, агротехнических и других мероприятий под постоянным контролем (гидрогеологическим, гидрологическим, санитарным) состояния и качества вод.

В основу разработки и реализации мероприятий по охране природных вод закладываются три методологических принципа: 1) сохранение ресурсов и предотвращение нарушения состояния и качества вод; 2) при необходимости нарушения - рациональное использование; 3) в процессе и после использования - восстановление качества и состояния, восполнение запасов.

В соответствии с этими принципами комплекс мероприятий по охране природных вод подразделяется на две группы.

К первой группе относятся мероприятия *предохранительного характера*, направленные на сохранение запасов, режимов и качества поверхностных и подземных вод.

Ко второй группе относятся мероприятия *восстановительного характера*, включающие рациональное использование, очистку и возврат вод в поверхностные водоемы и водотоки, подземные горизонты.

**Сохранение запасов, режимов и качества поверхностных и подземных вод.** В случае, если месторождение обводнено, но дренажные воды не могут быть использованы по назначению, следует предусмотреть следующие мероприятия по сохранению запасов подземных вод: 1) сбрасывание или перекачку подземных вод разрабатываемой толщи пород в нижележащие водоносные горизонты; 2) сооружение барражей типа «стена в грунте», противофильтрационных завес, гидро- и пневмозащит.

Первый метод получил достаточно широкое применение в практике горных работ и реализуется в основном посредством проходки с поверхности земли водопоглощающих или нагнетательных скважин. Этим же методом производится восполнение запасов пресных подземных вод. Для этой цели могут быть использованы запасы пресных вод, накопленные или сосредоточенные в поверхностных водоемах и водотоках. Пресные воды с поверхности подаются в соответствующие подземные водоносные горизонты или естественные подземные емкости (карстовые полости, трещиноватые толщи скальных пород и пр.).

В последний период во многих странах мира с целью охраны окружающей среды входит в практику захоронение в недрах промышленных стоков, особенно токсичных, путем их нагнетания через скважины. В отдельных случаях, с учетом геологических и гидрогеологических особенностей массива, степени токсичности и концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, создают подземные водохранилища методом выщелачивания солей. В Беларуси удобный метод захоронения промстоков запрещен в законодательном порядке.

Для воспроизводства эксплуатационных запасов подземных вод, особенно напорных, часто залегающих на большой глубине (200-300 м и более), и необходимости захоронения промышленных стоков может быть использован опыт, накопленный в нефтедобывающей промышленности при применении способов законтурного и внутриконтурного заводнения нефтяных залежей на глубине 1000 м и более. Реализация метода требует выполнения обстоятельных изысканий прежде всего для определения приемной способности подземных коллекторов, их изолированности, надежности их состояния, особенно в районах тектонической активности, при которых обеспечиваются накопление запасов, сохранение их качества, предотвращение загрязнения пресных вод в результате выщелачивания вмещающих пород или проникновения минерализованных вод, предотвращение загрязнения подземных вод захороненными

промышленными стоками. Хотя еще не зафиксированы серьезные случаи загрязнения недр захороненными промышленными стоками, однако этот метод потенциально опасен, и его применение требует научного и экономического обоснования, тщательности исполнения, организации постоянно действующего гидрогеологического контроля.

***Создание противofильтрационных завес.***

В отличие от традиционных методов осушения месторождений полезных ископаемых, когда срабатываются статические и динамические ресурсы подземных вод, метод создания противofильтрационных завес различного типа позволяет не только подготовить месторождение к освоению и обеспечить нормальные и безопасные условия производства горных работ, но и решить другие важные задачи:

- уменьшить или предотвратить водопритоки в зону горных работ и соответственно сократить объемы дренажных вод, сбрасываемых в открытые водоемы и водотоки;
- сохранить ресурсы подземных вод в прилегающем к месторождению районе;
- сохранить естественный режим подземных вод.

Последнее положение особенно важно для месторождений, где подземные воды приурочены к закарстованным массивам. При осушении таких месторождений нарушается застойный режим подземных вод и происходит подтягивание менее минерализованных вод, что приводит к активизации карстовых процессов. В связи с существенным сокращением и даже исключением активного сбора вод из района, прилегающего к разрабатываемому участку месторождения, этот метод определяется как метод «пассивного осушения».

Противofильтрационные завесы различного типа все более широко применяются в промышленно развитых странах при строительстве и горных работах. Особенно часто применяются барражи типа «стенка в грунте» как один из прогрессивных, эффективных и экономичных способов предотвращения притока подземных и подрусовых вод. Сущность способа заключается в устройстве вертикальных стенок из водонепроницаемых материалов, пересекающих водоносные горизонты и перекрывающих притоки грунтовых и подземных вод в горные выработки или в выемки при строительстве крупных промышленных и гражданских объектов.

Барражные завесы типа «стенка в грунте» широко применялись в Польше при ограждении серных карьеров от проникновения притоков инфильтрационных потоков вод Вислы, а также притоков грунтовых вод. Аналогичные работы проводились в Германии при разработке буроугольных карьеров и также подтвердили эффективность противofильтрационных барражей. В Украине этот способ был применен в 1968-1970 гг. при строительстве Подороженского серного карьера Роздольского ПО «Сера». Длина барражной траншеи составила 11 км.

Противofильтрационные завесы для перехвата подземных вод в глубоко залегающих водоносных горизонтах выполняются посредством

нагнетания через скважины различных тампонажных материалов. Этот способ успешно применялся в начале 50-х годов XX в. для предотвращения водопритоков в горные выработки при разработке одного из угольных месторождений в Венгрии, отличающегося сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями. Но поскольку противofильтрационные завесы имеют большое природно- и ресурсоохранное значение, их эффективность следует оценивать с учетом предотвращенного ущерба народному хозяйству.

Применение предохранительных мероприятий при разработке водообильных месторождений полезных ископаемых способствует сохранению природных водных ресурсов и имеет большой народно-хозяйственный эффект.

**Мероприятия восстановительного характера.** Наиболее часто употребляются следующие методы очистки вод:

- ◆ для осаждения суспензированных и эмульгированных примесей, представленных грубодисперсными частицами, отстаивание, флотация, фильтрация, осветление, центрифугирование; при содержании в сточных водах мелкодисперсных и коллоидных частиц - коагуляция, флокуляция, электрические методы;

- ◆ для очистки от неорганических соединений - дистилляция, ионообмен, обратный осмос, ультрафильтрация, реагентное осаждение, методы охлаждения, электрические методы;

- ◆ для очистки от органических соединений - регенерационные методы - экстракция, абсорбция, флотация, ионообмен; реагентные методы; деструктивные методы — биологическое, жидкофазное, парофазное и электрохимическое окисление, озонирование, хлорирование;

- ◆ для очистки от газов и паров - отдувка, нагрев, реагентные методы;

- ◆ для уничтожения вредных веществ - термическое разложение.

На горных предприятиях для осветления сточных и дренажных вод наибольшее распространение получил способ отстаивания как один из наиболее экономичных и достаточно эффективных. Для этой цели организуются пруды-отстойники, вместимость и размеры в плане которых определяются в зависимости от объема сточных вод, размера и концентрации осаждаемых частиц. Сточные воды обогатительных производств в виде пульпы подаются в хвостохранилище, где происходит осаждение основной части твердых частиц, а затем, уже в значительной степени осветленные, воды через сбросные колодцы поступают в пруды-отстойники. Серьезную проблему представляет очистка прудов-отстойников от шламов, их обезвоживание, обезвреживание, последующее складирование или утилизация. Решение этой проблемы в значительной степени зависит от характеристик минерального и механического составов шламов.

В отечественной и зарубежной горно-добывающей промышленности существует большое число примеров успешного использования различных методов очистки.

**Оборотное водоснабжение на обогатительных фабриках.** Переход от «прямоточного» (река - предприятие - река) водоснабжения к замкнутому циклу, в котором однажды взятая вода все время находилась бы в обороте (как, например, при охлаждении автомобильного мотора), - основное направление в охране водных ресурсов, предполагающее полное исключение попадания сточных вод в реки и водоемы.

Современными проектами обогатительных фабрик горных предприятий предусматривается достаточно высокий уровень оборотного водоснабжения (до 90-95 % и более). Осуществление замкнутого водооборота в процессе обогащения определяется необходимостью получения при очистке требуемого качества воды, обеспечивающего стабильность технологического процесса обогащения. Свежая вода расходуется при этом только на восполнение неизбежных потерь.

На горных и металлургических предприятиях Канады основная часть воды находится в замкнутом технологическом цикле. Например, на руднике «Куппер Клифф» 75 % потребляемой воды очищают и возвращают для повторного использования.

Во многих случаях оборотные системы водоснабжения обогатительных фабрик пополняются рудничными и шахтными водами.

Состояние грунтовых и подземных вод, параметры депрессионных воронок определяются гидрогеологической службой предприятия посредством режимных гидрогеологических наблюдательных скважин. По данным замеров уровней подземных вод в наблюдательных скважинах прослеживается динамика формирования депрессионной воронки или, наоборот, повышение уровня грунтовых вод при их подпоре и прогнозируется изменение дебитов существующих водозаборов в районе месторождения. Изменение минерализации подземных вод определяется путем отбора дренажных вод и вод из наблюдательных скважин. Полученные данные обрабатываются и документируются в виде планов гидроизогипс и гидроизопьез для каждого водоносного горизонта, фиксирующих положение депрессионных воронок по отношению к горным выработкам, таблиц изменения химического состава (минерализации) подземных вод, таблиц или графиков, иллюстрирующих динамику объемов дренирования.

#### **6.6. Влияние горного производства на природный ландшафт**

Специфическая особенность размещения предприятий горной промышленности заключается в том, что они могут создаваться только там, где имеются залежи полезных ископаемых. При этом горные предприятия обычно являются основой для образования крупного производственного комплекса из предприятий различных отраслей промышленности со сложной инфраструктурой. В связи с этим нагрузки на окружающую среду увеличиваются.

Общая площадь земельных участков, используемых предприятием за весь срок его существования, составляет общий земельный отвод. В ходе строительства, эксплуатации и реконструкции предприятия величина земельного отвалов может изменяться как в сторону увеличения при полу-

чении в пользование новых земель, так и в сторону уменьшения при возвращении землепользователем неиспользованных и рекультивированных площадей и земельных участков, надобность в которых миновала.

В земельном отводе выделяются следующие группы участков, предназначенных:

- производства собственно горных работ; такие участки предоставляются во временное пользование, кроме площадей под внешние отвалы и хвостохранилища, которые в основном передаются в долгосрочное пользование,
- размещения основных технологических и вспомогательных сооружений, в том числе очистных и водозаборных сооружений водохранилищ, базисных и расходных складов взрывчатых материалов, внутриплощадных коммуникаций и других объектов инфраструктуры; такие земельные участки, как правило, предоставляются горным предприятиям в постоянное или временное долгосрочное пользование;
- размещения гражданских и жилых зданий, строительства поселков горных предприятий или зданий и сооружений для нужд горных предприятий на существующих территориях; такие земельные участки предоставляются в постоянное пользование;
- для размещения различного рода коммуникаций (линейных сооружений): железных и шоссейных дорог, линий электропередачи, связи, газо-, нефте- и водопроводов, канализации и пр.; такие земельные участки в зависимости от назначения коммуникаций и сроков их эксплуатации передаются в постоянное или временное пользование.

Ареал отрицательного воздействия горного предприятия на окружающий ландшафт значительно превышает площадь земельного отвода, что ухудшает экологическую обстановку в районе горного предприятия.

Воздействие горного производства на ландшафт можно разделить на прямое и косвенное.

К прямому относят воздействия, приводящие к нарушению почвенного покрова, изменению облика территорий, сокращению площадей сельскохозяйственных и лесных угодий, уничтожению растительного покрова или миграции животных: строительство карьеров и разрезов, возведение отвалов, сооружение хвосто- и водохранилищ, строительство промышленных и гражданских зданий, прокладка дорог и других видов коммуникаций, деформации земной поверхности в зоне горных выработок, особенно при подземном способе разработки. Прямое воздействие приводит к образованию нового техногенного ландшафта в зоне влияния горного производства.

К косвенному относят воздействия, приводящие к ухудшению состояния и плодородия земель, условий произрастания растений и обитания животных: изменение состояния и режима грунтовых вод в связи с осушением месторождений, осаждение пыли и химических соединений из выбросов в атмосферу, инфильтрация загрязненных или минеральных вод через дамбы и основания хвосто- и водохранилищ, вынос и осаждение

продуктов эрозии нарушенных земель, подтопление и заболачивание участков земель с близко расположенным уровнем грунтовых вод, при деформациях земной поверхности в зоне подземных торных работ, ухудшение качества вод и режима поверхностных водоемов и водотоков. Косвенное воздействие может привести к деградации природного ландшафта.

Характеристика прямого воздействия горного предприятия на земли составляется на основе материалов текущего учета состояния земель и их периодической инвентаризации. Характеристика косвенного воздействия основывается на определении размеров территории, подверженной этому воздействию, степени изменения состояния и качества почв, снижения продуктивности сельскохозяйственных и лесных угодий, изменения качества их продукции.

Вследствие прямого и косвенного воздействия горных работ на ландшафты возникают следующие неблагоприятные экологические факторы: сокращение площадей природных и культурных (прямых) техногенных ландшафтов, водная и ветровая эрозии, разрушение почвенной структуры, минерализация, засоление, интоксикация, переувлажнение (заболачивание, подтопление), иссушение, уплотнение, карстообразование, увеличение электромагнитного поля и радиоактивного фона, изменение микроклимат и т.д.

Существует различные методы защиты ландшафтов.

*Механический метод защиты поверхности от эрозии* основан на возведении механической преграды на пути разрушающего агента (воздушного или водного потока). В отличие от биологического и химического методов противоэрозионной защиты породы, слагающие защищаемую поверхность, непосредственно не участвуют в процессе повышения устойчивости поверхности к эрозии.

Для преграждения пути водным потокам применяют специальные способы вспашки склонов с образованием продольных борозд на поверхности откоса, возводят земляные валы или водоотводные нагорные траншеи и т.п.

Однако такие способы не защищают поверхность склонов от прямого воздействия дождя и ветра. Большой надежностью характеризуются способы непосредственного покрытия эродируемой поверхности хвостохранилищ твердыми конструктивными элементами типа сплошных или решетчатых щитов (с последующей посадкой растений в ячейках решеток), сборных железобетонных элементов, соломенных, тростниковых или камышовых матов и плит (последние предварительно обрабатываются вяжущими составами), насыпных слоев щебня, шлака, древесной коры и т.п. В последнее время для укрепления поверхности откосов высоких земляных сооружений типа насыпных плотин, отвалов песчано-глинистых пород применяют покрытия из синтетических полотен. Однако в этом случае затруднена последующая биологическая рекультивация.

Способы механической защиты поверхности от эрозии отличаются значительной трудоемкостью, низкой производительностью и для решения рассмотренных выше задач используются лишь в отдельных случаях, главным образом, как вспомогательные в сочетании с биологическим закреплением поверхности.

*Биологический метод защиты поверхности от эрозии* предусматривает посадку (посев) культурных или дикорастущих растений на поверхностном слое укрепляемых пород или внесение в этот слой культур микроорганизмов.

Защита пород от разрушения достигается благодаря двум эффектам: глубинному (объемному) связыванию минеральных частиц в пределах укрепляемого слоя и экранированию поверхности от внешних воздействий. В первом случае эффект укрепления создается в результате склеивающего действия продуктов жизнедеятельности микроорганизмов (бактерий, низших растений) или вследствие армирующего действия корневой системы растений. Во втором случае наземная часть биомассы, покрывающая защищаемую поверхность, предотвращает непосредственное воздействие на эту поверхность воздушных и водных потоков и предельно снижает их скорость вблизи поверхности. Кроме того, ослабляется проявление температурного контраста, связанное с суточными колебаниями температуры окружающей среды.

И, наконец, даже при неравномерном зарастании поверхности такие участки служат просто механическим препятствием для частиц грунта, перемещаемых с незаросших участков, и тем самым предотвращают вынос продуктов эрозии в окружающую среду.

В практике противэрозионной защиты нарушенных горными работами земель наибольшее распространение получил способ залужения поверхности, в особенности поверхности откосов, которые не предназначены для лесо- или сельскохозяйственного использования. Здесь эффективно могут быть использованы торфодерновые ковры. Выращенные вне отвалов (на верховых торфяниках) ковры транспортируют с помощью простейших средств (велоком на металлических листах) к отвалу и вручную укладывают на откосе.

*Физико-химический метод противэрозионного укрепления поверхности* основан на управлении свойствами и структурой грунта в укрепляемом слое путем введения в него различных вяжущих веществ. По типу применяемых вяжущих (структурообразователей) различают способы: цементации, битумизации, силикатизации, укрепления грунтов синтетическими смолами, сложными высокополимерными композициями и др.

В процессе укрепления грунтов участвуют две физико-химические системы: грунт и структурообразователь (вяжущее). Процесс протекает на границе контакта этих двух систем.

Для предотвращения эрозии на горных предприятиях могут использоваться различные типы структурообразователей: неорганические

вяжущие, битумы, синтетические смолы, лигнины, латексы, полиэлектролитные композиции (поликомплексы), реже цементы.

К способам закрепления грунтов неорганическими растворами можно отнести силикатизацию, укрепление грунтов фосфатными вяжущими, кремнефторводородной кислотой и ее солями, растворами солей железа и алюминия и др.

Среди этих способов наибольшее распространение получили процессы силикатизации (одно- и двухрастворной), основанные на совместном применении растворов жидкого стекла силикатов щелочных металлов (натрия, калия) и различных глеобразующих добавок, а также на применении суспензий портландцемента в растворах силиката натрия.

Во всех этих случаях закрепление и снижение проницаемости дисперсных грунтов достигается в результате образования твердеющих гелей, в которых твердая фаза преимущественно представлена кремнекислотой, гидросиликатами, гидроалюмосиликатами или полимерсиликатами - в зависимости от состава используемых растворов или суспензий.

### 6.7. Безотходное горное производство

Горное производство образует твердые, жидкие и газообразные отходы (табл.6.3.)

Большое количество отходов является наиболее объективным показателем несовершенства проектируемой или применяемой технологической схемы, поэтому необходимо обеспечить создание и широкое применение технических средств и технологии для комплексного и более полного извлечения полезных компонентов из руд, а также использование малооперационных, малоотходных и безотходных технологических процессов.

Таблица 6.3.

Виды отходов горного производства

Фазовая характеристика отходов	Способ добычи			Обогащение
	Открытый	Подземный	Геотехнологический	
Твердые	Вскрышные породы, часть балансовых запасов полезных ископаемых, бедные и забалансовые руды	Вмещающие породы, часть балансовых запасов полезных ископаемых, бедные и забалансовые руды	Часть балансовых запасов полезных ископаемых, бедные и забалансовые руды  Рабочие агенты (теплоноситель, растворитель и др.)	Хвосты обогащения          Технологические стоки
Жидкие	Карьерные воды	Шахтные (рудничные) воды	Продукты физических и химических реакций	

Газообразные	Продукты массовых взрывов	Рудничный воздух	Продукты сгорания топлива, отходящие газы, продукты измельчения, сушки, обжига и других технологических процессов
--------------	---------------------------	------------------	---

Горная промышленность США ежегодно перемещает около 2,1 млрд. т пустой породы. В мире при добыче подземным способом каждые 1000 т угля на поверхность выбрасывается 1 - 12 кг угольной и породной пыли, 50-570 тыс. м<sup>3</sup> метана, 7,5-15 тыс. м<sup>3</sup> углекислого газа, около 5,5 тыс. м<sup>3</sup> оксидов, образующихся при взрывных работах, 55-135 тыс. кДж теплоты, 1,5-9 тыс. м<sup>3</sup> шахтных вод и 210—300 т породы. Таким образом, создание технологических процессов, в которых не образуются отходы, и на этой основе полностью экологизированных предприятий и территориально-производственных комплексов - одна из важнейших проблем горнодобывающей промышленности.

Таблица 6.4.

Использование полезных ископаемых при производстве 1 т чугуна и меди

Показатели	Значения показателей при производстве	
	чугуна	меди
Добыча горной массы из недр, т	20-30	200-300
Размещение добытой горной массы в отвалах на земной поверхности, т	15-25	180-200
Размещение добытой и измельченной горной массы в хвостохранилищах на земной поверхности, т	2-4	60-90
Специально занятая площадь на земной поверхности, м:		
под горно-добычные работы		
под породные отвалы под хвостохранилища	0,03-0,05	0,2-0,4
Условный коэффициент использования недр, %	0,1-0,2 2-5 3-5	1,2-1,8 6-9 0,3-0,5

Понятие «безотходная технология» впервые предложено академиками РАН Н.Н. Семеновым и И.В. Пстряковым-Соколовым в 70-х годах XX в. До настоящего времени содержание этого понятия окончательно не определено. В решении Европейской Экономической Комиссии (ЕЭК) ООН и Декларации о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов, принятом в 1979 г. в Женеве, указывается, что безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду.

Рассматривая содержание понятия «безотходное производство», необходимо учитывать один из законов природопользования, рассмотренный в главе 1. В соответствии с одним из следствий этого закона, абсолютно безотходное производство невозможно, т.к. оно равнозначно созданию «вечного» двигателя. Поэтому предлагается ввести понятие «безотходное производство», понимая под ним совокупность технологических процессов по извлечению полезных компонентов из природных ресурсов для удовлетворения материальных и духовных потребностей человеческого общества, в которых обеспечивается полное использование вещества (твердого, жидкого и газообразного) и энергии либо в рамках производственной деятельности человека, либо путем их включения в природный геобиохимический процесс.

Это позволяет определить содержание понятия «безотходное горное производство» как комплекс мероприятий научно-технического и организационно-экономического характера, проводимых на всех стадиях добычи и переработки полезных ископаемых и обеспечивающих полное использование минеральных ресурсов и энергии либо непосредственно в самом горном производстве, либо путем их включения в природные геобиохимические процессы.

Успешное решение этой проблемы позволит: получить дополнительные (и весьма значительные) объемы сырья; снизить и перенести на более отдаленные периоды расходы на освоение новых сырьевых районов; стабилизировать цены на минеральное сырье; существенно уменьшить масштабы воздействия горного производства на окружающую среду и тем самым создать условия для эффективного преодоления негативных тенденций развития минерально-сырьевой базы и горно-добывающей промышленности.

Загрязнение окружающей среды отходами происходит из-за их неполного обезвреживания вследствие несовершенства технологического процесса или присутствия значительного количества примесей в исходном сырье. Загрязнитель после выброса в любую часть биосферы будет растворяться в ней и одновременно проникать в другие части биосферы, взаимодействовать с ними.

Идея создания безотходного (экологизированного) горного производства заключается в разработке и реализации методов и средств и их

организационно-экономического обеспечения, позволяющих вписать современное горное производство - геохимически открытую систему с крайне низким коэффициентом выхода готовой продукции на единицу используемых природных ресурсов в природный геохимический круговорот, превратив его тем самым в геохимически замкнутую производственную систему.

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ

## Глава 7. Экология основных отраслей промышленности

### 7.1. Источники загрязнения природной среды в промышленности

Все отрасли промышленности являются загрязнителями природной среды, отличаясь лишь ассортиментом, степенью опасности и объемом выбросов (сбросов), а также количеством твердых токсичных отходов (табл. 7.1.).

Жидкие загрязняющие вещества образуются при конденсации паров распылении и разливе жидкостей, в результате химических реакций, как конечные отходы технологических реакций.

Газообразные загрязнители формируются в результате химических реакций, например, окисления, обжига руд нерудного минерального сырья (цветная металлургия, производство цемента). При сжигании топлива на ТЭС образуются огромные количества газообразных соединений – оксиды серы, азота, углерода, тяжелых и радиоактивных металлов. Реакции восстановления также являются источником газообразных загрязняющих соединений, например, производство кокса, соляной кислоты из хлора и водорода, аммиака из атмосферного азота и кислорода. Мощным источником газообразных соединений являются химические реакции разложения (производство фосфорных удобрений), электрохимические процессы (производство алюминия), выпаривание, дистилляция.

Промышленная пыль (см. гл. 6) образуется в результате механической обработки различных материалов (дробление, размол, взрывание, заполнение, разравнивание), тепловых процессов (сжигание, прокаливание, сушка, плавление), транспортировки сыпучих материалов (погрузка, просеивание, классификация).

Из всей массы загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от техногенных источников, около 90% составляют газообразные, 10% — твердые и жидкие вещества. Главными источниками загрязнения атмосферы, как показано ранее, являются: тепловые электростанции и теплоцентрали, сжигающие органическое топливо; транспорт; черная и цветная металлургия; машиностроение; химическое производство; добыча и переработка минерального сырья; открытые источники (добыча, сельскохозяйственные пашни, строительство) (табл. 7.2.).

Состав выбросов определяется прежде всего разнообразием исходного сырья и технологией его переработки. Обобщенный состав выбросов характеризуется следующими данными: оксид углерода – 28% суммарного выброса в атмосферу, диоксид серы – 16,3%, оксиды азота – 6,8%, аммиак – 3,7%, бензин – 3,3%, сероуглерод – 2,5%, сероводород – 0,6%, толуол – 1,2%, ацетон – 0,95%, бензол – 0,7%, дихлорэтан – 0,6%, серная кислота – 0,3%.

Таблица 7.1.

Доля, вносимая основными техногенными источниками в загрязнение атмосферы

Вид деятельности	Массовая доля в суммарном выбросе всех загрязняющих веществ за год, %
Все виды транспорта	50-60
Производство пара, тепловой и электрической энергии	10-15
Промышленные технологии и процессы горения	15-20
Сжигание	5

Таблица 7.2.

Основные источники загрязнения атмосферного воздуха

Группа	Аэрозоли	Газообразные выбросы
Котлы и промышленные печи	Зола, сажа	NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , а также CO, альдегиды (НСНО), органические кислоты, бенз(а)пирен
Нефтеперерабатывающая промышленность	Пыль, сажа	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , CO, углеводороды, меркаптаны, кислоты, альдегиды, кетоны, канцерогенные вещества
Химическая промышленность	Пыль, сажа	В зависимости от процесса (H <sub>2</sub> S, CS <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , кислоты, органические вещества, растворители, летучие вещества, сульфиды и др.)
Металлургия и коксохимия	Пыль, оксиды железа	SO <sub>2</sub> , CO, NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , фтористые соединения, цианистые соединения, органические вещества, бенз(а)пирен
Промышленность строительных материалов	Пыль	CO, органические соединения

При этом следует отметить, что в последние годы выбросы в атмосферу загрязняющих веществ промышленными предприятиями снизились. Но, к сожалению, это произошло не потому, что были реализованы эффективные природоохранные мероприятия (внедрение природосберегающих технологий, установка эффективного газопылеочистного оборудования и т. п.), а из-за существенного спада ряда производств.

Промышленные сточные воды отличаются большим разнообразием состава и концентраций загрязняющих веществ, что определяется характером производства, а также системой водоснабжения и отведения сточных вод (табл. 7.3.).

Таблица 7.3.

## Основные виды загрязнений промышленными сточными водами

загрязнители	Предприятия									
	Цветной металлургии	Черной металлургии	Коксо-химические	Машино-строительные	Нефтеперерабатывающие	Синтетической химии	Текстильные	Кожевенные	Мясоперерабатывающие	Молочные
Взвеси:										
минеральные	5-6	3-4	+	2	-	-	-	-	-	-
органические	-	-	-	-	-	+	3	4-5	4	3
Растворенные неорганические:										
хлориды	-	0-2	3-4	-	3	1-3	2-3	4	3-4	-
сульфаты	-	2-4	-	-	2-3	3	-	3-4	-	-
фосфаты	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1-2
цианиды	4	0-3	0-3	+	-	-	-	-	-	-
медь	2	-	-	1-3	-	-	+	-	-	-
марганец	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
хром	+	-	-	2-3	-	-	1	2	-	-
свинец	0-5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
цинк	0-4	-	-	+	-	-	-	-	-	-
кадмий	+	-	-	0-3	-	-	-	-	-	-
Растворенные органические:										
ПАВ	-	-	-	-	-	0-2	2	0-2	-	-

Примечание. Знак + означает возможность присутствия загрязнителя в неочищенном стоке; числовые значения соответствуют содержанию загрязнителя, мг/дм<sup>3</sup>: 1 – единицы, 2 – десятки, 3 – сотни, 4 – тысячи, 5 – десятки тысяч, 6 – сотни тысяч.

Ниже в табл. 7.4. приведены объемы природной воды, которая загрязняется до значения ПДК вредными веществами при получении 1 т продукта.

Таблица 7.4.

## Количество воды, загрязняемой до значения ПДК примесями, сопутствующими получению 1 т товарного продукта

Наименование продукта	Загрязнено до значений ПДК, м <sup>3</sup> воды
Сульфат алюминия неочищенный, 9,5% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40
Железный купорос, 53% FeSO <sub>4</sub>	120
Известь, 100% CaO	110
Едкий натр, 100% NaOH	930
Хлор, 100% Cl	1050
Кислота серная, 92% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	70

Кислота соляная, 32% HCl	120
Сульфит натрия безводный, 92% Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	3500
Сталь листовая	1800
Алюминий листовой	4400
Сода кальцинированная, 98% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	3550
Электроэнергия (1кВт*ч)	0,26
Топливо (1 ТУТ)	600

Из табл. 7.4. следует, что при получении, например, 1 т жидкого хлора до уровня ПДК будет загрязнено 1050 м<sup>3</sup> природной воды непосредственно на месте его производства.

К загрязнителям, которые вносят в среду обитания человека промышленные сточные воды, добавляются вредные вещества, содержащиеся в поверхностном стоке предприятий (табл. 7.5.).

Обрабатывающая промышленность насчитывает десятки отраслей, каждая из которых имеет свои технологические, особенности, специфические характерные только для нее выбросы (сбросы).

Таблица 7.5.

Характеристика поверхностного стока некоторых промышленных предприятий, мг/дм<sup>3</sup>

Состав поверхностного стока	Содержание загрязнителей в стоках, мг/дм <sup>3</sup>					
	Угольной шахты		Нефтеперерабатывающего завода		Металлургического комбината	
	дождевой	талый	дождевой	талый	агломерационный	конвертера
рН	6,5 9,4	-	-	-	7,8	8,4
Взвешенные вещества	42-2890	203-300	260-3730	310-3800	1250	3230
Нефтепродукты, масла ХПК	13-300 8-14	6-27 5-12	10-50 250-1000	35-1280 220-910	11 6,2	17,7 8,6
БПК <sub>20</sub>	12-70	-	30-340	38-260	4,3	4,8
Общее солесодержание	70-2200	120-243	300-640	320-740	-	-
Хлориды	26-1129	5-13	15-75	19-90	6,5	3,0
Сульфаты	17-137	43-136	50-460	110-375	87,5	47,9

## 7.2. Черная и цветная металлургия

По объему загрязнений одно из первых мест в народном хозяйстве занимает черная и цветная металлургия, металлообрабатывающая промышленность. Производство чугуна и стали сопровождается образованием более десятков млн. т металлургических шлаков, из которых используются технологиями только 50%. Металлургические шлаки содержат железо, тяжелые металлы, мышьяк, сурьму и т.д.

Различные виды металлургического производства и металлообработки формируют значительное количество разнообразных по составу шламов и пыли, которые затем практически не используются и превращаются в отходы производства или загрязнители окружающей среды

(накопление шламов с содержанием железа около 50% на заводах черной металлургии только в России достигает 20 млн. т в год.

**Черная металлургия.** В рамках металлургических комбинатов полного цикла размещаются основные производства (подготовка руды, производство кокса, выплавка чугуна, стали, прокат металла) и обслуживающие (энергетические, транспортные, ремонтно-механические) службы. В настоящее время объем производимого металла на таких крупных предприятиях России, Индии, Китая, США достигает сотен миллионов тонн.

Процессы выплавки чугуна и переработки его в сталь сопровождаются выбросом в атмосферу различных вредных веществ. Подсчитано, что выброс пыли в расчете на 1 т передельного чугуна составляет 4,5 кг, диоксида серы — 2,7 кг, марганца — 0,1-0,6 кг. Наряду с указанными, в атмосферу поступают такие вредные вещества, как соединения мышьяка, фосфора, сурьмы, свинца, пары ртути, цианистый водород и смолистые вещества. Основным источником загрязнения воздуха диоксидом серы являются агломерационные фабрики (табл. 7.6.).

Таблица 7.6.

Характеристика атмосферных выбросов металлургических предприятий

Производство	Доля выброса, %			
	пыль	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Агломерационная фабрика	34,3	82,5	62,5	25,0
Коксовый цех	11,1	0,9	7,5	7,0
Доменный цех	1,7	1,6	2,7	-
Конвертерный цех	9,3	0,6	0,4	-
Мартеновский цех	4,0	0,6	0,2	15,0
Прокатный цех	-	3,0	-	8,0
Ремонтный цех	1,1	0,2	4,3	-
Транспорт	0,3	0,3	5	-
Газовое хозяйство	-	-	7,5	-
Цех огнеупоров	2,7	0,2	0,1	-
Энергетические установки	36,9	7,5	-	40
Прочие	9,6	2,6	9,8	5,0

Во время агломерации (окусковывания) измельченной руды происходит выгорание серы из сульфосодержащих руд (пиритов). Последние содержат до 10% серы, а после агломерации ее остается всего лишь 0,2-0,8%. Поэтому выброс SO<sub>2</sub> может составить до 190 кг на 1 т руды.

При агломерации концентрация пыли в отходящих газах составляет от 2-7 до 15-20 г/м<sup>3</sup>. При этом средний состав пыли (%): железа - 50, оксидов кремния, кальция и алюминия – около 10, оксидов углерода, серы и магния примерно по 2. Значительное количество пыли образуется и при транспортировке агломерата, дроблении и грохочении исходных компонентов. Большинство современных заводов черной металлургии имеют цехи коксования углей и отделения по переработке коксового газа.

При размолу угля, загрузке шихты в батареи и выгрузке кокса на коксохимических производствах образуются угольная пыль и сажа. В процессе коксования выделяется газ, содержащий пары углеводородов (смолистых веществ). Количество газообразных выбросов составляет 3-5 м<sup>3</sup>, смолистых веществ 0,2-0,5 кг на 1 т используемого угля.

Считается, что наиболее серьезное загрязнение воздуха происходит при мокром тушении кокса, в процессе которого выделяется в среднем (кг/т): 0,01-0,04 гидросульфида; 0,05 аммиака; 0,006 цианида; 0,08-0,1 фенола. При нагревании коксовых батарей коксовым и колошниковым газом в отходящих газах может содержаться до 2 г/м<sup>3</sup> диоксида серы и 0,2-1,0 г/м<sup>3</sup> диоксида азота. Могут быть обнаружены компоненты смолы, бенз(а)пирен, сероводород и др.

В сточных водах коксового производства в качестве основного вещества-загрязнителя выступает фенол (до 2 г/дм<sup>3</sup>), кроме него часто присутствуют цианиды, роданиды, смолы, масла.

Доменное производство является крупным загрязнителем атмосферы, выбрасывая пыль, диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота, сероводород. Особенно значительны выбросы сточных вод, образующихся в процессе производства чугуна. Они содержат частички руды, кокса, известняка, а также химические соединения – сульфаты, хлориды и др. Доменный процесс сопровождается выходом доменных шлаков и шламов. На 1 т чугуна приходится от 0,4 до 0,65 т доменных шлаков. Состав их сложен, в них встречаются до 30 химических элементов. Основные из них – SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO и MgO. Для городов с металлургическими заводами проблема хранения доменных шлаков особенно актуальна, так как они хранятся в пределах заводской площадки, занимая территории и загрязняя окружающую среду.

Доменный (колошниковый газ), образующийся при горении кокса, состоит из диоксида углерода и азота, оксида углерода, водорода и метана. Имея значительную удельную теплоту сгорания (до 4 мДж/м<sup>3</sup>), он используется как топливо. При этом газ, направляемый потребителю, должен быть полностью очищен от твердых частиц. Количество и состав пыли зависит от вида сырья, содержание ее в колошниковом газе составляет 20-300 кг/т сырого чугуна, концентрация 10-200 г/м<sup>3</sup>. Пыль состоит из частиц железа, топлива, флюсов, присадок. В кислородных конверторах пыль на 80-85% состоит из оксидов железа.

Значительно загрязняют атмосферу выбросы мартеновских и конвертерных сталеплавильных цехов. При выплавке стали в мартеновских

печах пыль образуется при окислении металлической шихты из шлака, руды, известняка и окалины, идущих на окисление примесей шихты, и доломита, применяющегося для заправки пода печи. В период кипения стали выделяются также пары металла, окислов шлака и металла, газы. Преобладающая часть пыли мартеновских печей состоит из триоксида железа (67%) и оксида алюминия (6,7%). При бескислородном процессе на 1 т мартеновской стали выделяется 3000-4000 м<sup>3</sup> газов с концентрацией пыли в среднем 0,5 г/м<sup>3</sup>. При подаче кислорода в зону расплавленного металла пылеобразование многократно увеличивается, достигая 15-52 г/м<sup>3</sup>.

Производство цветных металлов отличается большой материалоемкостью, энерго-, топливо- и водоемкостью производства, многокомпонентностью сырья, наличием значительного числа экологически вредных производств. Специфика руд цветных металлов обусловлена небольшим содержанием в них основного металла. Поэтому для получения 1 т металла необходимо переработать 100-200 т руды, а в ряде случаев и более. Балластная (неиспользуемая) часть сырья переходит в твердые, жидкие и газообразные отходы. Тенденция вовлечения в переработку все более бедного сырья вызывает увеличение этих отходов.

На единицу выплавляемого металла в цветной металлургии образуется шлаков во много раз больше, чем в черной металлургии. Например, при выплавке 1 тонны никеля образуется до 15 т шлаков, меди соответственно 10-30 т. В состав шлаков входят оксиды кремния, алюминия, кальция, железа, магния, медь, никель, свинец, кадмий, редкие металлы и др.

При производстве цветных металлов в биосферу поступают: мышьяк, медь, свинец, кадмий, стронций, цинк, алюминий, молибден, вольфрам, никель. В отвалах шлаков на медеплавильных заводах содержатся миллионы т железа, меди, цинка. В шлаковых отвалах свинцовых заводов содержатся миллионы тонн железа, цинка, свинца, меди.

Отрасли цветной металлургии отличаются значительным уровнем водопотребления и высоким уровнем загрязнения вод. Если в черной металлургии для выплавки 1 тонны чугуна расходуется от 25 до 800 м<sup>3</sup> воды, то на 1 т алюминия - 1500 м<sup>3</sup> воды. Сточные воды этой отрасли содержат грубодисперсные примеси, ионы и соли тяжелых металлов, нефтепродукты, сульфаты, хлориды, фториды, цианиды, мышьяк, сурьму и др. В результате вода становится непригодной не только для хозяйственно-питьевых целей, но и для орошения, а часто и для технического использования.

### **7.3. Химическая и нефтехимическая промышленность**

#### **Химическая промышленность.**

На втором месте после металлургического производства по уровню негативного воздействия на окружающую среду находятся отрасли химической промышленности. Это определяется спецификой производства и свойствами используемого сырья. Неблагоприятное воздействие на окружающую среду отрасли проявляется в: наличии значительных объемов и высокой токсичности выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сбросов

их в водные объекты и формировании отходов. Кроме того, подавляющая часть новых производимых химических веществ не имеет природных аналогов; многие из них потенциально опасны, особенно в генетическом плане.

Предприятия химического производства являются источником эмиссии значительных объемов высоко токсичных загрязнителей в различные компоненты окружающей среды.

Особую опасность представляет загрязнение химическими предприятиями атмосферного воздуха, поверхностных вод и почв диоксинами и диоксиноподобными токсикантами (при производстве хлорфенолов, хлорбензолов, других хлорсодержащих веществ, а также при использовании хлорированных катализаторов и растворителей).

Содержание вредных веществ в атмосфере связано с размещением оборудования на открытых площадках, нарушения его герметичности, большого количества наружных технологических коммуникаций. При производстве серной кислоты в атмосферу в большом объеме поступают сернистый газ и сероуглерод. Предприятия по производству азотных удобрений загрязняют атмосферу оксидом азота, азотной и азотистой кислот, плотность содержания которых в воздухе составляет 1,3 мг/м<sup>3</sup> на расстоянии 0,5 км от предприятия. Производства красителей, вискозы, фотопленки, целлулоида обеспечивают загрязнение воздуха оксидом азота; заводы по производству пестицидов, органических красителей, соды, соляной кислоты, уксусной кислоты являются поставщиком хлора; предприятия по производству эмали выбрасывают соединения фтора в атмосферу. Заводы, производящие синтетический каучук выбрасывают в воздух изопрен, толуол, ацетон; предприятия по производству соды - аммиак, оксиды фосфора, диоксид серы. Производство цемента вызывает эмиссию в атмосферу оксида углерода и пыли. Нефтеперерабатывающие предприятия являются источниками загрязнения воздуха углеводородами, сероводородами, оксидом углерода. При этом термический режим отходящих газов заводов химической промышленности соответствует температуре окружающей среды. Поэтому в радиусе их эмиссии происходит скопление токсичных веществ. Этот процесс при наличии безветренной погоды и в условиях термической инверсии часто приводит к возникновению смога.

Негативное воздействие предприятий химического комплекса на окружающую среду проявляется и на гидросферу. На многих предприятиях функционирует обратная система водоснабжения, в результате чего объем водопотребления чистых вод снижается. Однако повторное использование технически загрязненной воды не всегда возможно по условиям технологии производства. Для приведения ее в соответствие с нормативной для технических целей, часть использованных загрязненных вод разбавляется чистой водой, вторая часть трансформируется в сточные воды. Со сточными водами предприятий химической промышленности в гидросферу поступают: нефтепродукты, взвешенные вещества, азот общий и аммонийный, нитраты, нитриты, хлориды, сульфаты, фосфор общий, цианиды, роданиды, кадмий,

кобальт, марганец, медь, никель, ртуть, свинец, хром, цинк, сероводород, сероуглерод, формальдегид, фенолы, поверхностно-активные вещества, пестициды и др.

Химические предприятия характеризуются огромным ассортиментом выпускаемой продукции, среди которой есть крупнотоннажная, исчисляемая десятками млн. т (серная, азотная, фосфорная и соляная кислоты, минеральные удобрения и др.), но имеется и малотоннажная, исчисляемая тоннами и даже килограммами (например, реактивы). Во всех случаях в атмосферу поступают токсичные вещества (табл. 7.7.).

При реализации технологий **неорганических веществ** можно выделить три основных загрязнителя — оксиды серы, азота и взвешенные частицы. В то же время фиксируется около 400 ненормируемых загрязняющих веществ, имеющих широкий диапазон опасных свойств. К ним можно отнести аммиак, хлороводород, фтороводород.

Таблица 7.7.

## Выбросы загрязняющих веществ в химическом производстве

Химическое производство	Загрязняющие вещества
Серной кислоты	Оксиды серы, серная кислота
Азотной кислоты	Оксиды азота
Хлора и гидроксида натрия	Хлор, хлорсодержащие соединения
Вискозного волокна	Сероводород, дисульфид углерода
Суперфосфата	Соединения фтора
Фтористоводородной кислоты	Соединения фтора
Фосфорной кислоты	Соединения фтора
Сложных удобрений	Фтор
Целлюлозы	Гидросульфид, диоксид серы
Очищенной нефти	Оксид углерода, альдегиды, углеводороды, органические кислоты, диоксид серы, диоксид азота

Ненормируемые загрязняющие вещества незначительны по объему, но их многообразие представляет проблему для работы очистных сооружений. Предприятия неорганической химии создают высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных вод и почв диоксинами и диоксиноподобными веществами.

В производстве **органических веществ** основными загрязнителями являются углеводороды и оксиды углерода, выбросы которых исчисляются многими тысячами тонн. Но имеются и токсичные вещества, выбросы которых хотя и небольшие, но крайне опасные. Среди них полициклические ароматические соединения: бенз(а)пирен, перилен, бенз(е)пирен, бенз(ж)перилен и др.

Решение экологических проблем в отрасли осложнено эксплуатацией морально и физически устаревшего оборудования (60% - эксплуатируется более 10 лет, до 20% - свыше 20 лет, до 10% - более 30). Произошедшие в последние годы катастрофы на химических предприятиях России (Уфа, Стерлитамак, Томск, Ангарск, Салават, Ставрополь), постоянные локальные

взрывы и разрушения объектов с человеческими жертвами, заражение атмосферы и других объектов окружающей среды свидетельствуют о том, что ситуация в отрасли критическая.

**Нефтеперерабатывающая промышленность.** Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ), относящиеся к крупнотоннажным производствам, выпускают горючие и смазочные материалы, битумы, электродный кокс, ароматические углеводороды. Основные выбросы вредных веществ в атмосферу по технологическим процессам НПЗ приведены в табл. 7.8.

Кроме основных, выделяются и специфические загрязняющие вещества: фтористые соединения, пентоксид ванадия, метилмеркаптан.

Таблица 7.8

## Эмиссия поллютантов при переработке нефти

Технологический процесс	Состав выбросов
Каталитический крекинг	Оксиды серы, углеводороды, альдегиды, аммиак, NOx
Каталитический реформинг	Выбросы незначительны, могут выбрасываться углеводороды, аммиак, сероводород
Каталитический гидрокрекинг	CO, NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S
Обессеривание	H <sub>2</sub> S, меркаптаны
Вакуумная перегонка	Фенолы

Со сточными водами НПЗ в поверхностные воды поступает значительное количество нефтепродуктов, сульфатов, хлоридов, соединений азота, фенолов, солей тяжелых металлов. Большой проблемой НПЗ являются токсичные отходы, состоящие из химически активных газов, образующихся при эксплуатации очистных сооружений.

Подобно металлургическим, предприятия нефтепереработки являются наиболее мощными загрязнителями в пределах городов, где они размещены.

#### 7.4. Машиностроительная промышленность

Практически в любом городе, а тем более промышленном центре имеются предприятия машиностроения. В одном случае это единичные предприятия, в других — группа различных по специализации машиностроительных производств. Как и на предприятиях любой отрасли промышленности, в машиностроительной имеют место выбросы вредных веществ в атмосферу, сбросы в водную среду, а также образуются твердые отходы и физические излучения.

Уровень негативного воздействия машиностроения определяется видом производства и его спецификацией. Каждый вид производства, а их более 100, имеет свою технологию, определяющую характер воздействия на окружающую среду. Особую проблему для отрасли представляет образование токсичных отходов. В их числе: осадки очистных сооружений, в том числе шламы гальванических производств, горелая земля, отработанные

масла и смазочно-охлаждающие жидкости, стружка, окалина, промасленная ветошь, отходы электронной промышленности и производства печатных плат.

Предприятиями машиностроения в атмосферу поставляются: пыль различного химического и гранулометрического состава, сернистый ангидрид, оксид углерода, оксиды азота, сероводород, масляный и сварочный аэрозоли, растворители ароматического ряда (бензол, толуол, ксилол, ацетон), углеводороды эфирного ряда (бензин, уайт-спирит и др.), испарения гальванических ванн (хром, никель, свинец, цинк и др.).

Наиболее экологически вредными являются литейные, механической обработки, сварочные и окрасочные производства. В результате процессов сварки и пайки в атмосферу выделяются очень опасные пары оксидов железа и цинка, аэрозоли марганца, кремния и меди, а также фториды, озон, оксиды азота и др. Из наиболее токсичных тяжелых металлов значительна эмиссия в атмосферу шестивалентного хрома (около 50%).

Машиностроение загрязняет гидросферу сточными водами травильных и гальванических производств. Со сточными водами в поверхностные водоемы и водотоки поступает значительное количество загрязнителей органического и неорганического синтеза. В их числе: нефтепродукты, взвешенные вещества, сульфаты, хлориды, цианиды, соединения азота, соли железа, меди, цинка, никеля, хрома, молибдена, фосфора, кадмия и др.

В выбросах в атмосферу можно выделить пыль различного гранулометрического состава, диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота, сероводород. Кроме того, выбрасываются масляный и сварочный аэрозоли, растворители ароматического ряда (бензол, толуол, ксилол, ацетон), углеводороды эфирного ряда (бензин, уайт-спирит). В процессах сварки и пайки выделяются пары оксидов железа и цинка, аэрозоли марганца, кремния, меди, а также фторидов и озона. Опасную для здоровья асбестовую пыль выделяют применяемые в производстве теплоизоляционные и звукопоглощающие материалы. При проведении окрасочных работ в атмосферный воздух поступают пары органических растворителей лакокрасочных материалов и аэрозоли пигментов.

При работе металлорежущих станков применяют, как известно, смазочно-охлаждающие жидкости (масла, эмульсии). Естественно, указанные вещества попадают в воздух. При сухой обработке металлов абразивными инструментами (например, при шлифовке) выделяется абразивная пыль, представляющая большую опасность для здоровья человека.

Машиностроительные предприятия являются источником существенного загрязнения сточными водами. Особой токсичностью выделяются сточные воды травильных отделений и гальванических цехов, где они по своему действию напоминают яды. Травильный раствор обычно состоит из серной или соляной кислоты. Концентрация их в свежем растворе составляет от 15 до 20%, а в отработанном – 4,5%. В водах, образующихся при травлении цветных металлов и их сплавов, содержатся кроме остатков

кислот также катионы металлов из протравленных заготовок. Около 40% стоков составляют хромсодержащие сточные воды.

Твердые отходы машиностроительных предприятий различной специализации отличаются относительно однородным составом - черные и цветные металлы, окалина, горелая формовочная смесь, древесина, пластмассы, бумага, картон.

Развитие средств связи, телевидения, компьютерной техники, для чего требуется привлечение высококвалифицированных специалистов, осуществляется по понятным причинам в основном в городах, прежде всего крупных. Масштабы воздействия соответствующих производств на природную среду, несомненно, меньше, чем у традиционных отраслей машиностроения, поскольку необходимость выпуска особо чистых материалов требует уважительного отношения и к чистоте окружающей, особенно производственной, среды. Однако отходы производства элементной базы ЭВМ, полупроводников, магнитных материалов и др. содержат тяжелые металлы, соединения кремния, германия, мышьяка, а в выбросах в атмосферу присутствуют хотя и незначительные по количеству, но разнообразные по составу высокотоксичные вещества. Среди них есть и такие, характер влияния которых на организм человека изучен недостаточно.

Шумы и вибрация относятся к числу специфических видов загрязнения среды обитания и являются постоянным спутником многих технологических процессов: работы вентиляционных систем, насосов, компрессорных установок и др. (табл. 7.9.).

Таблица 7.9.

Уровни звукового давления на различных технологических стадиях машиностроительных предприятий

Виды производств	Уровни звукового давления, дБ
сталеплавильное	74-103
прокатное	118-122
литейное	105-115
кузнечно-прессовое, штамповочное	115-130
обрезные, гвоздильные и др. рубильные машины, ножницы, полуавтоматы и автоматы	110-115
сварочные работы	100-105
металлорежущие станки	100-106
заточка инструмента	85-90

### 7.5. Промышленность строительных материалов

Крупным источником твердых частиц, загрязняющих природную среду, являются цементные заводы, известковые печи, установки по производству магнезита, асфальта, печи обжига кирпича. Наибольшая

часть газообразных продуктов образуется в производстве цемента и обжига клинкера, однако, они редко превышают допустимые значения. При обжиге кирпича могут возникнуть выбросы соединений фтора и диоксида серы, в стекольной промышленности возможны выбросы фтора и оксидов азота.

Состав твердых частиц цементных и известковых заводов - карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$ , оксид кальция  $\text{CaO}$ , цементный клинкер, шлак, цемент, глина, уголь и др. При этом на объем выбросов от цементных заводов влияет технологическая схема производства — «сухая» или «мокрая». С экологической точки зрения (эффективное отделение пыли) мокрая схема, дающая меньшие концентрации пылевых выбросов, является более предпочтительной. Но чаще применяется сухой метод вследствие большой производительности и экономической эффективности.

Печи обжига кирпича могут быть источниками выбросов соединений фтора, главным образом гидрофторида и кремнефторидов. Как правило, выбросы их невелики и характеризуются невысокими концентрациями, и их вредное воздействие ограничивается непосредственной близостью к источнику эмиссии.

Согласно оценкам специалистов, производство цемента и других вяжущих, стеновых материалов, асбестовых цементных изделий, строительной керамики, тепло- и звукоизоляционных материалов, строительного и технического стекла сопровождается выбросами в атмосферу пыли и взвешенных веществ (57,1% от суммарного выброса), оксида углерода (21,4%), диоксида серы (10,8%) и оксидов азота (9%). Кроме того, в выбросах присутствуют сероводород (0,03%), формальдегид (0,02%), толуол (0,02%), бензол (0,01%), диоксид ванадия (0,01%), ксилол (0,01%).

Вокруг заводов, производящих цемент, асбест и другие строительные материалы, сложились зоны с повышенным содержанием в воздухе бенз(а)пирена, пыли, в том числе цементной, и других вредных веществ.

Строительные и отделочные материалы являются основным средством создания здоровой экологически безопасной жилой среды. С точки зрения гигиены строительные и отделочные материалы должны отвечать следующим требованиям:

- строительные и отделочные материалы в жилых и производственных зданиях не должны быть источниками дискомфорта или вредного влияния на воздушно-тепловой режим помещений;
- строительные и отделочные материалы не должны создавать в помещениях специфического запаха к моменту ввода здания в эксплуатацию. Выделение вредных химических веществ из строительных и отделочных материалов, а также из материалов, используемых для изготовления встроенной мебели, не должно создавать в помещениях, где находятся люди, концентраций, превышающий их среднесуточные ПДК, установленные для атмосферного воздуха населенных мест или воздуха жилых помещений;

- строительные и отделочные материалы не должны стимулировать развитие патогенной микрофлоры и плесневых грибов;
- уровень напряженности электростатического поля на поверхности материалов в условиях эксплуатации жилых помещений не должен превышать 15 кВ/м (при относительной влажности воздуха 30-60%);
- строительные материалы не должны ухудшать микроклимат помещений. Коэффициент тепловой активности полов должен быть не более 10 ккал/м<sup>2</sup>\*час\*град;
- удельная эффективная активность естественных радионуклидов в строительных материалах во вновь строящихся зданиях не должна превышать 370 Бк/кг.

Полимерные стройматериалы, строительные и отделочные материалы, изготовленные из вторичных ресурсов и отходов производства, подлежат обязательной экспертной оценке, по результатам которой выдается специальное заключение.

#### **7.6. Проблемы природопользования в сельском хозяйстве.**

Сельскохозяйственное природопользование является одним из древнейших видов природопользования, непосредственно направленным на удовлетворение потребностей человека. Качество сельхозпродукции непосредственно влияет на здоровье человека. Кроме того, экологические последствия нерационального использования земель сказываются на других природных компонентах.

Земельный фонд планеты представляет сочетание разнообразных категорий земель. Наибольшие площади заняты сельскохозяйственными угодьями – более 35 % лесами и кустарниками – 30 %, населенными пунктами, промышленностью и транспортом – свыше 3 % от всего земельного фонда.

Имеются данные, что за историческое время человечество потеряло около 2 млрд. га плодородных земель. Из них за несколько последних десятилетий уничтожено почв больше, чем за предшествующую историю человечества. Ежегодно в мире из-за деградации почв и отчуждения земель на хозяйственные нужды теряется около 7 млн. га пахотных земель. Одной из основных причин ухудшения качества земельных ресурсов является эрозия почв.

Развитию эрозии благоприятствуют как природные, так и техногенные факторы. К природным факторам относятся холмистый рельеф, выпадение значительного количества осадков и их ливневый характер, преобладание легких по гранулометрическому составу почв (особенно лессовидных суглинков и лессов), отсутствие растительности. Большую роль в сохранении почв играет растительность, т. к. снижает интенсивность воздушных и водных потоков и закрепляет почву. Развитию эрозии благоприятствуют следующие антропогенные факторы: вырубка лесов, перевыпас скота, неправильная распашка склонов и др. Только за последние 50 лет

эрозионный снос в океан вырос приблизительно в 8 раз. В 40 – 50-х гг. XX в. он составлял около 3 млрд. т. в год, в 70-х годах достиг 24 млрд. т.

Эрозия оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду. Плодородие почвы уменьшается вследствие выноса гумуса, макро- и микроэлементов. Например, в Беларуси с каждого гектара склоновых земель ежегодно смывается до 15 т, а на осушенных торфяниках и легких почвах переносится до 10 т плодородного слоя почвы. Ежегодные потери гумуса от эрозии составляют 180 кг/га, N – 8 – 10, P и K – 5 – 6 кг/га. В результате эрозии образуются слабосмытые (горизонт А смыт до половины своей мощности), среднесмытые (горизонт А смыт более чем на половину), сильносмытые (частично смыт горизонт В) почвы. Урожай сельскохозяйственных культур на слабосмытых почвах уменьшается на 10 – 15 %, на среднесмытых – на 20 – 40 %, на сильносмытых – на 50 – 60 %. Благодаря эрозии водоемы загрязняются удобрениями, пестицидами. Из внесенных на склоновые земли удобрений вымывается до 20 % N, 2 – 5 % P, 10 – 70 % K. Вынос пестицидов с орошаемых земель достигает 4 % от внесенного количества.

Одним из последствий эрозии является образование эрозионных форм рельефа: оврагов, балок, ям, рытвин, дюн и барханов.

Поэтому необходимо проведение противоэрозионных мероприятий, которые делятся на следующие группы: организационно-хозяйственные; агротехнические; лесомелиоративные; гидротехнические. К организационно-хозяйственным мероприятиям относится правильная организация территории с учетом подверженности почв эрозии, включающая обоснованный состав, соотношение, размещение сельхозкультур полей, лесополос и т. д. Агротехнические мероприятия включают порядок использования земли в севообороте и систему ее механической обработки. К этой группе относятся фитомелиоративные, агрохимические и агрофизические мероприятия, снегозадержание и регулирование стока, противоэрозионная обработка почвы. Фитомелиорация включает полосное размещение посевов, мульчирование, посев промежуточных культур, травосеяние и др. Противоэрозионная обработка почвы – это вспашка поперек склона, обработка плугом с почвоуглубителем и т. д. Лесомелиоративные мероприятия – это улучшение природных условий территории защитными лесными насаждениями. Гидротехнические мероприятия чаще применяются на крутых склонах и сильно заовраженных землях. Например, на склонах крутизной 4 – 60 эффективны валы-террасы, ступенчатые террасы, водозадерживающие валы, запруды.

Наиболее эффективным средством увеличения продуктивности сельскохозяйственного производства является использование удобрений. В настоящее время мировое производство минеральных удобрений равно примерно 200 – 220 млн т / год. Темпы роста производства удобрений во многом сходны с ростом производства электроэнергии.

Потери минеральных удобрений происходят при хранении, транспортировке, неравномерности распределения по поверхности поля, в

результате развития эрозии. Последствия внесения удобрений разнообразны и проявляются как в районах их внесения, так и на соседних территориях. Например, использование азотных удобрений приводит к накоплению в почве азота в виде нитратов вследствие микробиологических процессов (аммонификации, нитрификации). Особенно сильное загрязнение почв нитратами происходит при применении необоснованно высоких (более 200 кг N на 1 га) доз бесподстилочного навоза. Значительное содержание нитратов в почве приводит к их повышенному содержанию в растениях. Известно более 20 факторов, влияющих непосредственно на накопление нитратов в растениеводческой продукции. Основными из них являются: дозы азотных удобрений и соотношение азота с другими питательными веществами; формы, сроки и способы внесения; гранулометрический состав почвы и другие ее свойства. 70 – 80 % нитратов человек получает с овощами, 15 – 20 % – с питьевой водой, 5 – 10 % – с фруктами, молочными и мясными продуктами.

Нитраты в человеческом организме восстанавливаются до нитритов. Опасность нитритов связана с тем, что они вступают в реакцию с гемоглобином крови и превращают содержащееся в ней двухвалентное железо в трехвалентное. В результате этого развивается заболевание метгемоглобинемия. Особенно опасна метгемоглобинемия для грудных и маленьких детей, у которых слабо развит ферментативный аппарат, способствующий превращению трехвалентного железа вновь в двухвалентное. Результатом этого является болезнь, получившая название цианоз, или синюшность, которая может заканчиваться летальным исходом. Кроме того, нитриты в человеческом организме способны вступать в реакцию с аминами, содержащимися в желудочном соке, и образовывать нитрозамины. В настоящее время нитрозамины являются сильными канцерогенами. Канцерогены – это вещества, которые вызывают злокачественные новообразования.

При применении кислых азотных удобрений увеличивается кислотность почв, что влечет за собой повышенное вымывание из них кальция и магния. Фосфорные удобрения не обладают столь выраженным подкисляющим эффектом, как азотные, но они могут вызвать цинковое голодание растений и накопление стронция в получаемой продукции.

Фосфорные удобрения содержат примесь фторсодержащих соединений (от 0,2 до 4 % фтора), железа, стронция, селена, мышьяка (не менее 0,006 %), тяжелых металлов (не менее 0,008 %) и в их числе кадмий (10 – 30 мг/кг), а из радионуклидов – уран, торий и их дочерние продукты. Картофель, выращенный на почве, удобренной суперфосфатом, содержит в 4 раза больше кадмия, чем контрольный. Так, с фосфорными удобрениями в почву вносится фтор в количестве 8 – 20 кг/га; 0,1 – 0,4 % его поступает в растения, 25 % выносится в открытые водоемы, остальная часть сохраняется в почве и мигрирует в подземные воды. Фтор обладает высокой химической активностью и представляет большую опасность для здоровья человека. Повышенные дозы фтора снижают продуктивность животных, угнетают их

развитие и ведут к отравлению; у людей вызывают разрушение эмали зубов, потерю эластичности кровеносных сосудов, остеохондрозные явления.

Избыточное внесение калийных удобрений нарушает баланс магния, натрия, кальция, бора и других микроэлементов в почве, что может привести к снижению качества продукции. Главным отрицательным свойством калийных удобрений, оказывающим влияние на окружающую среду, является поступление в почву хлора. Так, при внесении 60 кг/га хлористого калия растения поглощают 10 кг/га, а остальное количество вымывается в воды. Предельно допустимая концентрация хлора в местах водоснабжения установлена на уровне 0,25 – 0,50 мг/л. Вода с повышенным содержанием хлора непригодна для питья. Повышенное количество калия может вызвать токсикозы у растений.

Применение высоких доз сказывается на здоровье населения: заболевания органов дыхания, в т. ч. туберкулез, пневмония, болезни нервной системы и органов чувств, системы кровообращения, печени и желчевыводящих путей. Поэтому для уменьшения неблагоприятного воздействия минеральных удобрений на окружающую среду необходимо осуществление следующих мероприятий: использование специальных машин для доставки удобрений с завода к месту хранения; соответствие объемов хранилищ объему удобрений, поставляемых хозяйству; соблюдение равномерности внесения удобрений; использование новых форм (медленно действующих) удобрений (капсулированных и т. д.), применение безбалластных удобрений; строгое соблюдение доз, форм, сроков, способов внесения удобрений; соблюдение соотношения пропашных культур и культур сплошного сева в севообороте, использование однолетних и многолетних трав, покосных и пожнивных культур и др.

В сельском хозяйстве для уничтожения или снижения численности вредителей используются пестициды.

Экологическая вредность пестицидов зависит в основном от их химической природы, продолжительности жизни, способности избирательно действовать на отдельные организмы и трансформации в среде. Например, ДДТ под действием ультрафиолетового излучения превращается в другой стойкий и ядовитый углеводород – полихлорированный бифенил (ПХБ), который имеет значительный срок жизни и накапливается в цепях питания.

Экологические последствия внесения средств защиты растений следующие:

- развитие устойчивых вредных организмов к пестицидам. Например, устойчивость колорадского жука к пестицидам в ряде районов США возросла в 20 раз;
- изменение свойств отдельных природных компонентов. Использование гербицидов нарушает биологическое равновесие почвы, уменьшает видовое разнообразие почвенных микроорганизмов, ухудшает пищевую ценность культурных растений, ведет к вырождению отдельных сортов вследствие накопления мутаций.

Для повышения продуктивности переувлажненных земель осуществляется осушительная мелиорация, которая оказывает как положительное, так и отрицательное воздействие на окружающую среду. Последствия осушительной мелиорации рассмотрим на примере Беларуси, где за последние 10 лет мелиорация проведена на площади 3,4 млн. га.

При осушении торфяно-болотных почв улучшаются их водно-физические свойства, вследствие чего усиливается минерализация органического вещества и освобождаются питательные элементы, уменьшается кислотность почвенного раствора. Однако, в результате нерационального сельскохозяйственного использования осушенных торфяников происходит «сработка» торфа и получает развитие ветровая эрозия. Так, в Полесье под действием просадки, минерализации и дефляции ежегодно уменьшается слой торфа на 1 – 2 см. Потери торфа от ветровой эрозии при возделывании пропашных культур составляют 2 – 3 т/га, зерновых – около 1 т/га.

С понижением влажности и плотности торфа резко изменяется соотношение между его твердой, жидкой и газообразной фазами, что влечет изменение температурного режима. Тепловые свойства торфа увеличивают вероятность заморозков, их интенсивность и продолжительность. Так, на осушенных и освоенных болотах заморозки на 3 – 40 ниже, чем на неосушенных. Кроме того, на этих территориях учащаются атмосферные засухи.

Влияние осушительной мелиорации на гидрологический режим территории проявляется в следующем: возрастает в 2,5 – 5 раз густота гидрографической сети; увеличиваются в 1,5 – 2 раза минимальные и суточные расходы воды на сток; снижается уровень грунтовых вод на прилегающей территории (от 1,0 – 1,2 м у границы осушаемого участка до 5 – 10 м на расстоянии до 3 км от него); происходит пересыхание малых рек; увеличивается эвтрофикация в реках и озерах. По рекам Припять и Днепр в Черное море с осушенных болот ежегодно поступает около 1,5 млн. т минеральных и до 700 тыс. т агрессивных водорастворимых органических веществ. Мелиоративные мероприятия создают благоприятные условия для роста и развития культурных растений и могут отрицательно влиять на естественную растительность. Происходит изреживание или усыхание лесов, исчезновение ягодников, дикорастущих лекарственных растений, перерождение растительных сообществ, изменяется среда обитания, пути миграции многих животных, что влияет на их численность.

Таким образом, в результате осушительной мелиорации преобразуются болотные ландшафты. Они занимают особое положение между малым биогенным и большим геологическим круговоротами веществ. Мелиорированные ландшафты переводят углекислый газ и азот из одного круговорота в другой. Один гектар неосушенного болота примерно в 7 – 10 раз эффективнее выводит  $\text{CO}_2$  из атмосферы, чем гектар леса, выполняя тем самым очень важную общепланетарную и газорегуляторную функцию.

На природную среду влияют и другие виды сельскохозяйственной деятельности: проведение оросительной мелиорации, применение тяжелой техники, животноводческие комплексы и т. д. Воздействуя на один природный компонент – почву, человек опосредованно через систему вертикальных и горизонтальных связей влияет на другие природные компоненты и весь комплекс в целом.

### **7.7. Экологизация промышленного производства.**

Для уменьшения неблагоприятного воздействия промышленности на окружающую среду необходимо предпринимать меры по оптимизации и экологизации промышленного производства.

Экологизация промышленного производства основана на принципах рационального природопользования и предусматривает реализацию следующей системы мер:

- развитие природоохранного законодательства, основанного на принципах экологического и экономического стимулирования при минимизации использования природно-ресурсного потенциала его охраны и развития системы мониторинга;
- внедрение малоотходных, ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий;
- совершенствование технологии добычи и производства промышленной продукции путем замены устаревших технологий в промышленном производстве;
- рациональное размещение предприятий с учетом рельефа местности и метеорологических условий;
- внедрение системы обратного и повторно-последовательного водоснабжения;
- комплексная переработка отходов производства с предварительным извлечением цветных и редких металлов; интенсификация использования вторичного сырья;
- снижение доли антропогенного загрязнения всех компонентов окружающей среды путем совершенствования системы очистных сооружений, утилизации выбросов;
- сортировка, раздельное хранение, экологически безопасное размещение отходов и последующая их комплексная переработка;
- снижение объемов захоронения токсических отходов на суше, территории внутренних морей и акватории Мирового океана;
- организация санитарно-защитных зон вокруг промышленных предприятий;
- организация системы водоохраных зон и прибрежных полос на водоемах и водотоках с целью ограничения или ликвидации негативного влияния промышленных предприятий на качество вод.

Наиболее действенной мерой экологизации промышленного производства является оптимизация природоохранного законодательства, проявляющаяся в ужесточении нормативов по предельно-допустимым

выбросам, сбросам и предельно-допустимым концентрациям содержания различных веществ в природных средах.

В настоящее время в мировом промышленном производстве, по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), используется около 500 тыс. химических соединений, из которых 40 тыс. небезопасны для живых организмов, а 12 тыс. — ядовиты. В то же время недостаточный уровень развития природоохранного законодательства, повлек за собой значительные эмиссии токсичных веществ, которые привели к возникновению нарушений в природных системах. Ухудшение состояния окружающей среды негативно отразилось на состоянии здоровья населения, так как уровень здоровья общества в эпоху экологического кризиса находится в четкой корреляционной связи с состоянием природной экосистемы.

Экологизация технологий производства – это система мероприятий, направленных на предотвращение отрицательного воздействия производственных процессов на природную среду. Осуществляется путем разработки малоотходных технологий и технологических цепей, в результате внедрения которых в производство формируется минимальное количество отходов и вредных эмиссий в окружающую среду (см. детально в гл. 8, 9).

Экологизация технологий промышленного производства приводит к следующим результатам:

- 1) сокращению уровня потребления первичного сырья, а следовательно минимизированию затрат на разработку и добычу полезных ископаемых;
- 2) снижению ресурсоемкости производства за счет совершенствования технологий производства;
- 3) снижению масштабов техногенного воздействия на окружающую среду, обусловленных разработкой и добычей полезных ископаемых ;
- 4) уменьшению затрат на импорт сырья (для большинства высокоразвитых стран);
- 5) увеличению численности занятого в промышленном производстве населения путем расширения наукоемких отраслей промышленности по вторичной переработке сырья;
- 6) расширению структуры промышленного производства за счет выделения и развития опережающими темпами производства высокотехнологичного экологического оборудования, предназначенного для очистки и переработки вторичного сырья;
- 7) внедрению в производство замкнутых и каскадных технологий, позволяющих минимизировать количество отходов, высокоэффективно использовать электроэнергию и снизить уровень воздействия на окружающую среду;

8. широкому использованию экологической экспертизы техники и технологий с целью ликвидации недостатков технократического подхода.

## Глава 8. Системы и методы очистки сточных вод, выбросов в атмосферу, мелиорации загрязненных почв и реабилитации природных ландшафтов.

### 8.1. Основные пути и методы очистки сточных вод

Различают два основных пути очистки сточных вод: разбавление и очистка их от загрязнений. Разбавление не ликвидирует воздействия сточных вод, а лишь ослабляет его на локальном участке водоема. Основной экологобезопасный путь - очистка сточных вод от загрязнений.

Методы очистки производственных и хозяйственно-бытовых вод можно подразделить на следующие группы: механические, физико-химические, химические, биологические и термические. По своей сути эти методы могут быть рекуперационными и деструктивными. **Рекуперационные методы** предусматривают извлечение из сточных вод всех ценных веществ и последующую их переработку, а **деструктивные** — разрушение загрязняющих веществ путем их окисления или восстановления, в результате чего образуются газы или осадки.

Кроме обязательной механической очистки в комплекс очистных сооружений входят сооружения других групп очистки, вплоть до глубокой. Перед сбросом в водоем очищенные сточные воды подвергаются обеззараживанию (хлором, озоном, перексидом водорода и др.). Если в процессе очистки образуется осадок (или биомасса), его направляют в сооружения по обработке осадка. После этого обработанный осадок может утилизироваться, уничтожаться или складироваться. Очищенные сточные воды могут сбрасываться в водоемы (что нежелательно), направляться в оборотные системы водоснабжения промышленных предприятий и на орошение технических сельскохозяйственных культур.

Поскольку в течение суток состав сточных вод и их объем (в результате залповых выбросов) могут существенно изменяться, перед подачей сточных вод на механическую очистку их могут направлять в специальные устройства — усреднители. Последние либо интенсивно перемешивают отдельные потоки, либо дифференцируют поток сточных вод.

Количество производственных сточных вод определяется в зависимости от производительности предприятия по укрупненным нормам водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности.

**Норма водопотребления** — количество воды, необходимое для производственного процесса, установленное на основании научно обоснованного расчета или передового опыта.

**Норма водоотведения** — это количество сточных вод, отводимых от промышленного предприятия в водоем, при целесообразной норме водопотребления. В укрупненную норму водопотребления входят все расходы воды на предприятии. Нормы водопотребления и водоотведения выражаются в кубометрах воды на единицу готовой продукции или используемого сырья. Эти нормы расхода производственных сточных вод применяют при проектировании вновь строящихся и реконструкции действующих систем водоотведения промышленных предприятий.

Укрупненные нормы позволяют дать оценку рациональности использования воды на любом действующем предприятии.

**Механическая очистка.** Этим методом достаточно только при промышленном оборотном водоснабжении отдельных производств. В основном он служит лишь для подготовки сточных вод к обработке другими методами. При этом загрязненные воды осветляются на 30—60%, что существенно облегчает дальнейшие стадии очистки.

Механическая очистка применяется для выделения из сточных вод нерастворенных минеральных и органических примесей, для чего используют гидромеханические процессы (периодические и непрерывные) процеживания и отстаивания (гравитационное и центробежное), а также фильтрование. Выбор метода зависит от размера частиц примесей, физико-химических свойств и концентрации взвешенных частиц, расхода сточных вод и необходимой степени очистки.

*Процеживание и отстаивание.* Процеживание производится через решетки или сита в зависимости от величины и гидравлических свойств выделяемых частиц.

Решетки бывают подвижные и неподвижные. При очистке малых и средних количеств сточных вод используют неподвижные решетки. В зависимости от способа очистки решеток от налипших загрязнений различают простые решетки (очистка тучным способом) и механические (очистка при помощи различных приспособлений). Для извлечения из сточных вод ценных продуктов, находящихся в нерастворенном состоянии, используются барабанные и дисковые сита.

Для улавливания из сточных вод примесей минерального происхождения, главным образом песка геометрической крупности 0,15 мм и выше, применяют песколовки, которые по направлению движения воды подразделяются на горизонтальные, вертикальные и с вращательным движением воды.

Принцип действия песколовки основан на том, что под влиянием силы тяжести частицы, плотность которых больше, чем плотность воды, по мере движения их вместе с водой в резервуаре оседают на дно. В соответствии с закономерностями гидравлики потока песчинки уносятся вместе с водой только при определенной скорости течения. При снижении этой скорости крупинки песка оседают на дно резервуара, а вода течет дальше.

Песколовки делятся на горизонтальные, в которых вода движется в горизонтальном направлении; вертикальные, в которых вода движется вертикально вверх, круглые с винтовым поступательно-вращательным движением воды.

В последнем типе песколовки происходят процессы, аналогичные явлениям, наблюдаемым в чайной чашке при перемешивании налитого в чашку чая: чайинки собираются в центре чашки. При круговом движении воды в круглой песколовке крупные частицы песка аналогичным образом собираются в ее центре. Через устроенное в центре песколовки отверстие они попадают в специальную камеру.

При механической очистке из производственных сточных вод путем процеживания, отстаивания и фильтрования удаляется до 90% нерастворимых механических примесей различного характера (песок, глинистые частицы, окалина и другие), а из бытовых — до 60%.

В целях очистки сточных вод от нефтепродуктов также широко применяется метод отстаивания, который в данном случае основан на способности самопроизвольного разделения воды и нефтепродуктов. Частицы последних под действием сил поверхностного натяжения приобретают сферическую форму, и их размеры находятся в диапазоне от 2 до  $3 \cdot 10^2$  мкм. В основе процесса отстаивания лежит принцип выделения нефтепродуктов под действием разности плотностей воды и частиц масла. Содержание нефтепродуктов в стоках находится в широких пределах и составляет в среднем  $100 \text{ мг/дм}^3$ .

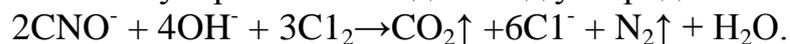
Для задержания оседающих и плавающих примесей применяют отстойники, которые по направлению движения воды подразделяются на горизонтальные и вертикальные. К отстойникам с горизонтальным движением воды относятся также радиальные. Фильтрование — удаление взвешенного вещества из воды путем пропуска ее через слой пористого материала или через сетки с изменяющимся размером отверстий. С помощью этого метода очищают сточные воды, содержащие тонкодисперсные примеси в небольшой концентрации. Его применяют также после физико-химических и биологических методов очистки, поскольку некоторые из них сопровождаются выделением в очищаемую жидкость механических загрязнений.

#### **Химическая очистка**

Окисление и восстановление как метод очистки применяется для обезвреживания промышленных сточных вод от цианидов, сероводорода, сульфидов, соединений ртути, мышьяка, хрома. В процессе окисления токсичные загрязнения переходят в менее токсичные. В качестве окислителей обычно используют хлор  $\text{Cl}_2$ , диоксид хлора  $\text{ClO}_2$ , гипохлориты натрия  $\text{NaClO}$  и кальция  $\text{Ca(ClO)}_2$ , перманганат калия  $\text{KMnO}_4$ , дихромат калия  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , пероксид водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  и др.

При хлорировании водных растворов цианидов, отличающихся весьма высокой токсичностью, процесс проводят в щелочной среде ( $\text{pH} > 9$ ). Вначале цианиды переходят в цианаты:

$\text{CN}^- + 2\text{OH}^- + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CNO}^- + 2\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ , а последние превращаются в молекулярный азот и диоксид углерода:

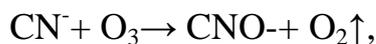


Аналогично протекает окисление цианидов в присутствии производных хлора — гипохлоритов натрия и кальция.

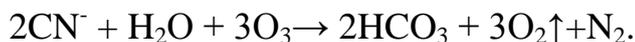
Озон, в силу своей высокой окислительной способности, уже при нормальной температуре разрушает многие органические компоненты сточных вод. Благодаря озонированию одновременно происходят обесцвечивание и обеззараживание сточной воды, а также насыщение ее кислородом.

Эффективность озонирования существенно повышается, а следовательно, сокращается и длительность процесса очистки, если совместно использовать ультразвук и озон или УФ-облучение и озон.

Подобно хлору, озон энергично реагирует с цианидами в слабощелочной среде:

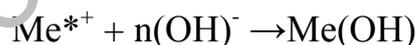


а последние превращаются в молекулярный азот и диоксид углерода



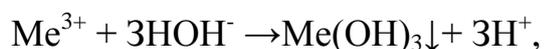
Методы восстановительной очистки сточных вод применимы в тех случаях, когда они содержат легко восстанавливаемые вещества, в частности, соединения ртути, хрома и мышьяка. При этом соединения ртути восстанавливают до металлической ртути, которую отделяют от воды отстаиванием или фильтрацией. Восстановителями служат сероводород, алюминиевая пудра, железный порошок, сульфид железа. Для восстановления шестивалентного хрома ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) используют сульфат железа (II), диоксид серы, водород, отходы органических веществ, например, газетную бумагу.

Ионы тяжелых металлов: цинка, меди, ртути, кобальта, кадмия, никеля, мышьяка, свинца и хрома можно удалить из промышленных сточных вод, переводя их в малорастворимые соединения с последующим отделением осадка от воды. Осаждение проводят в виде гидроксидов, карбонатов или сульфидов, характеризующихся низкими значениями произведений растворимости. В качестве реагентов-окислителей применяют гидроксиды кальция и натрия, карбонат натрия, сульфид натрия. При добавлении к сточной воде  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  или  $\text{NaOH}$  образуются гидроксиды соответствующих тяжелых металлов:



**Физико-химическая очистка сточных вод.** Метод используют для удаления из сточных вод тонкодисперсных взвешенных частиц (твердых и жидких), растворимых газов, минеральных и органических веществ. Применяется как самостоятельный метод, так и в сочетании с механическими и биологическими методами. В последние годы область применения физико-химической очистки расширяется, причем она наиболее эффективна при локальной очистке сточных вод промышленных предприятий.

*Коагуляция* — процесс укрупнения дисперсных частиц загрязняющих веществ в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты. Укрупнение происходит под влиянием добавляемых коагулянтов, чаще всего солей алюминия и железа: сульфата алюминия, гидроксохлорида алюминия и хлорида железа. Их расход составляет 0,1—5 кг на кубометр сточных вод. Коагулянты в воде гидролизуют с образованием хлопьев гидроксидов металлов:



которые медленно оседают, захватывая тонкодиспергированные (взвешенные) частицы загрязняющих веществ.

Однако решающим является следующее обстоятельство. Как известно, коллоидные частицы загрязняющих веществ имеют слабый отрицательный заряд. При добавлении к сточной воде электролита-коагулянта положительно заряженные ионы металлов ( $Al^{3+}$  или  $Fe^{3+}$ ) нейтрализуют электрический заряд коллоидных частиц, что приводит к дестабилизации коллоидной системы и агрегированию высокодисперсных частиц в более крупные конгломераты — взвеси.

**Флокуляция** — процесс агрегации взвешенных частиц при добавлении в сточную воду высокомолекулярных соединений, называемых **флокулянтами**. При этом процесс образования хлопьев гидроксидов алюминия и железа интенсифицируется для повышения скорости их осаждения. Таким образом, введение флокулянтов в сточные воды позволяет, с одной стороны, снизить массу используемых коагулянтов, а с другой — уменьшить продолжительность процесса хлопьеобразования и повысить скорость их осаждения. Применяют природные (крахмал, декстрин) и синтетические (полиакриламид, активный диоксид кремния) флокулянты.

Перспективным методом очистки сточных вод от хрома и других тяжелых металлов, а также от цианидов является **электрокоагуляция** — процесс образования нерастворимых гидроксидов при прохождении сточных вод через электрокоагулятор. Этот аппарат оснащен блоком электродов, изготавливаемых, как правило, из стали или сплавов алюминия. На электроды подается постоянный ток 3-15 вольт. Под влиянием электрического поля, с одной стороны, дисперсные системы сточных вод становятся менее устойчивыми, а с другой — они коагулируют с трудно растворимыми гидроксидами железа или алюминия, которые возникают и переходят в воду с электродов. Далее сточные воды поступают в отстойник, где в течение 30—45 мин образуются агрегаты размером до 500—1000 мкм, которые в дальнейшем выпадают в осадок.

**Флотация** применяется для очистки производственных сточных вод от нерастворимых диспергированных примесей, которые самопроизвольно плохо отстаиваются: нефти, нефтепродуктов, масел, жиров, волокнистых частиц. Процесс флотации заключается в образовании в толще воды газовых пузырьков (чаще воздушных), прилипанию частиц примеси к поверхности раздела газовой и жидкой фазы, всплывании этих комплексов на поверхность обрабатываемой сточной жидкости и удалении образовавшегося пенного слоя.

Возможность образования флотационного комплекса «частица-пузырек», скорость процесса образования и прочность связи, продолжительность существования комплекса зависят от природы частиц, а также от характера взаимодействия реагентов с их поверхностью и от способности частиц смачиваться водой.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ) как реагенты-собиратели, адсорбируясь на частицах, снижают их смачиваемость, т. е. делают

гидрофобными. В качестве реагентов-собираателей используют жирные кислоты и их соли, меркаптаны, амины, ксантогенаты, алкилсульфаты и др.

Эффект разделения флотацией зависит от размера и количества пузырьков воздуха. Оптимальный размер пузырьков находится в интервале 15-30 мкм. Размер частиц зависит от плотности материала и составляет 0,2-1,5 мм.

Различают следующие методы флотационной обработки сточной воды: перенасыщение сточной воды воздухом и механическую. Флотацию за счет перенасыщения сточной воды воздухом подразделяют на вакуумную и напорную. При вакуумной флотации сточную воду предварительно насыщают воздухом при атмосферном давлении в аэрационной камере, а затем направляют во флотационную камеру, где вакуум-насосом поддерживается разрежение 30-40 кПа (225-300 мм рт. ст.). Выделяющиеся в верхнюю часть камеры пузырьки воздуха выносят загрязнения на поверхность воды. Процесс флотации длится около 20 мин. Концентрация взвешенных частиц не должна превышать 300 мг/л.

**Напорная флотация** протекает в две стадии: насыщение сточной воды воздухом под избыточным давлением и последующее резкое снижение давления до атмосферного. Напорные флотационные установки позволяют обрабатывать сточные воды с начальной концентрацией загрязнений до 5 г/дм<sup>3</sup> при производительности от 5 до 2000 м<sup>3</sup>/ч. Всплывающая масса непрерывно удаляется механизмом сребания пены в сборники.

Для механической флотации используют импеллеры (турбины насосного типа), форсунки и пористые пластины. Перечисленные приспособления служат для формирования пузырьков воздуха в обрабатываемой сточной воде.

**Адсорбцию** применяют для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ после биохимической очистки, а также в локальных установках, если эти вещества биологически не разлагаются или являются очень токсичными при небольшой их концентрации. Адсорбцию используют для обезвреживания сточных вод от фенолов, гербицидов, пестицидов, ПАВ, красителей, ароматических нитросоединений и др. Достоинствами метода являются высокая эффективность, возможность очистки сточных вод, содержащих несколько веществ, а также рекуперация этих веществ.

Адсорбционная очистка вод может быть регенеративной, т. е. с извлечением вещества из адсорбента и его утилизацией, и деструктивной, при которой извлеченные из сточных вод вещества уничтожаются вместе с адсорбентом. Эффективность очистки достигает 80—95%.

В качестве адсорбентов чаще всего используют активные угли, синтетические сорбенты (силикагели, алюмогели) и некоторые отходы производства (зола, шлаки, опилки и др.). Адсорбционная способность активных углей является следствием сильно развитой поверхности и пористости. Удельная поверхность их может достигать 1000 м<sup>2</sup>/г.

Процесс адсорбционной очистки сточной воды ведут при интенсивном перемешивании адсорбента с водой или фильтрованием ее через слой адсорбента в специальных аппаратах - адсорберах. Адсорбированные вещества из углей извлекают перегретым водяным паром (200—300°C), либо нагретым инертным газом (120-140°C). После десорбции пары конденсируются, и вещество извлекают из конденсата. В том случае, когда адсорбированные вещества не представляют ценности, проводят деструктивную регенерацию адсорбента химическими реагентами (обрабатывая его сильными окислителями, например, хлором, озоном) или нагреванием его до 700-800°C в бескислородной среде.

**Ионный обмен** применяется для извлечения из сточных вод тяжелых металлов (цинка, меди, хрома, свинца, ртути, кадмия, ванадия, марганца и др.), а также соединений мышьяка, фосфора, цианидов и радиоактивных веществ. Метод позволяет рекуперировать ценные вещества при высокой степени очистки воды.

Ионный обмен представляет собой процесс взаимодействия раствора с твердой фазой, обладающей свойствами обменивать собственные ионы на другие ионы в растворе. Вещества, составляющие эту твердую фазу, носят название **ионитов**, те из них, которые способны поглощать из растворов электролитов положительные ионы, называются катионитами. отрицательные ионы — **анионитами**. **Иониты** — бывают неорганические и органические. Это могут быть природные вещества или вещества, полученные искусственно. К неорганическим природным ионитам относятся глинистые материалы, цеолиты, железные шпаты, слюды, к неорганическим синтетическим - пермутит. Наибольшее значение для очистки сточных вод приобрели ионообменные смолы - органические искусственные иониты. Они представляют собой высокомолекулярные соединения, углеводородные радикалы которых образуют пространственную сетку с фиксированными на ней ионообменными функциональными группами. Пространственная углеводородная сетка (каркас) называется матрицей, а обменивающиеся ионы - **противоионами**. Каждый противоион соединен с противоположно заряженными ионами, называемыми фиксированными, или анкерными. Полимерные углеводородные цепи, являющиеся основой матрицы, связаны (сшиты) между собой поперечными связями, что придает прочность каркасу.

**Экстракцию** применяют для очистки сточных вод, содержащих фенолы, масла, органические кислоты. Экстракция может быть экономически выгодным процессом, если стоимость извлекаемых веществ компенсирует все затраты на его проведение. Для каждого вещества существует концентрационный предел рентабельности извлечения его из сточных вод. В общем случае для большинства веществ можно считать, что при концентрации выше 3-4 г/дм<sup>3</sup> их рациональнее извлекать экстракцией, чем адсорбцией. При концентрации меньше 1 г/дм<sup>3</sup> экстракцию следует применять только в особых случаях.

Очистка сточных вод экстракцией состоит из трех стадий. Первая стадия - интенсивное смешение сточной воды с экстрагентом (органическим растворителем). В условиях развитой поверхности контакта между жидкостями образуются две жидкие фазы. Одна фаза - экстракт содержит извлекаемое вещество и экстрагент, другая — **рафинат** — сточную воду и экстрагент. Вторая стадия — разделение экстракта и рафината; третья стадия - регенерация экстрагента из экстракта и рафината.

Для экстракции фенолов из сточных вод используются простые и сложные эфиры. Подсмольные воды коксования углей очищаются экстракцией фенольваном или трикрезилфосфатом.

Основными аппаратами установок являются смесители, где сточные воды перемешиваются с экстрагентом, и отстойники. В смесителях происходит извлечение экстрагентом токсичных примесей, а в отстойниках - расслоение очищенной воды и экстрагента с растворенными примесями. Последний затем поступает на регенерацию с отдельным выделением в чистом виде экстрагента и токсичных ингредиентов. Эффективность экстракционных методов очистки сточных вод достигает 0,8-0,95.

**Обратный осмос** заключается в фильтровании растворов неорганических или органических веществ через полупроницаемые (молекулы воды проходят, молекулы растворенных веществ — нет) перегородки (мембраны). Так, если осмотическое давление морской воды составляет 20-25 атмосфер (2,0-2,5 МПа), то для ее опреснения, т. е. для продавливания через мембраны чистого растворителя (воды), следует приложить давление 6-7 МПа. В обратноосмотических аппаратах образуются два потока — опресненная вода и рассол.

**Ультрафильтрация** основана на разделении растворов фильтрованием через мембраны с диаметром пор 5-200 нм, в то время как при обратном осмосе используются мембраны с диаметром пор до 1 нм. Для ультрафильтрационной очистки от крупных органических или неорганических молекул используют давление 0,1-0,5 МПа. В качестве материала мембран используются ацетат целлюлозы, полиамиды и другие полимеры.

**Электрохимическая очистка** применяется для очистки сточных вод от различных растворимых диспергированных примесей; к ней относятся: 1) разложение нежелательных примесей за счет анодного окисления и катодного восстановления; 2) удаление растворенных неорганических соединений с использованием полупроницаемых мембран (электродиализ); 3) разложение примесей путем электролиза с использованием растворимых анодов и получение нерастворимых соединений, выпадающих в осадок. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через сточную воду постоянного электрического тока.

**Перегонка и ректификация.** Первый метод состоит в разделении и последующем удалении через открытую жидкую поверхность соединений, имеющих разную температуру кипения. В целях очистки сточных вод применяют простую перегонку, перегонку с водяным паром, перегонку с

инертным носителем, азеотропную перегонку, ректификацию в присутствии перегретого пара и азеотропную ректификацию.

**Простая перегонка** осуществляется путем постепенного испарения сточной воды. Метод применяется для удаления соединений, которые имеют температуру кипения ниже температуры кипения воды (ацетон, спирты и т. д.).

**Перегонку с водяным паром** (эвапорацию) или другим инертным носителем применяют для удаления легколетучих соединений (аммиака, аминов, фенолов). Перегонку производят в периодически действующих аппаратах или непрерывно действующих дистилляционных колоннах.

**Азеотропная перегонка** основана на способности ряда органических соединений образовывать друг с другом или с водой нераздельно кипящие смеси, имеющие температуру кипения ниже температуры кипения воды. В этом случае извлекаемое соединение вместе с дистиллятом поступает на дальнейшую переработку.

Ректификация используется для разделения жидких смесей путем многократного массообмена между паровой и жидкой фазами, движущимися противотоком друг к другу. При этом жидкость при движении по колонне сверху вниз обогащается высококипящими соединениями, а пар, движущийся вверх, — низкокипящими.

## 8.2. Экологически безопасные методы очистки проточков

**Термические методы.** На химических предприятиях образуются сточные воды, содержащие различные минеральные соли (кальция, магния, натрия и др.), а также широкий спектр органических веществ. Такие воды могут быть обезврежены термическими методами: концентрированием сточных вод с последующим выделением растворенных веществ; огневым обезвреживанием.

**Метод концентрирования** используют для обезвреживания минеральных сточных вод. Он позволяет выделять из стоков соли с получением условно чистой воды, пригодной для оборотного водоснабжения.

Процесс разделения минеральных веществ и воды может быть проведен в две стадии: концентрирования и выделения сухих веществ.

Во многих случаях вторая стадия заменяется захоронением концентрированных растворов. Концентрированные сточные воды можно непосредственно направлять на выделение сухого продукта, например, в распылительную сушилку.

Концентрирование сточных вод может быть проведено в испарительных (выпаривание при нагреве) или вымораживающих (холодильных) установках. Процесс вымораживания заключается в том, что при температуре ниже температуры замерзания чистая вода образует кристаллы чистого льда, а рассол с растворенными в нем солями размещается в ячейках между этими кристаллами. Температура замерзания рассола всегда ниже температуры замерзания чистой воды и зависит от концентрации растворенных солей. Если снижение температуры в процессе

замораживания идет медленно, то образуются сравнительно крупные игольчатые кристаллы с небольшим включением рассола, что способствует при оттаивании получению менее минерализованной воды.

Для выделения веществ из концентрированных растворов используют методы кристаллизации и сушки. Кристаллизация с применением погружного горения является наиболее эффективным приемом испарения жидкости, повышения концентрации солей в растворах и последующей кристаллизации их. Погружное горение — это сжигание газообразного топлива в специально сконструированной горелке под поверхностью жидкости. Тепло передается непосредственно от теплоносителя к жидкости, причем степень использования тепла, выделяющегося при горении, составляет около 90%. Горячий газ, выходя из сопла горелки, разбивается на огромное количество мельчайших пузырьков; таким образом обеспечивается максимально развитая поверхность теплопередачи. Газы, охлаждаясь, выходят из раствора при температуре, близкой к температуре жидкости. Водяной пар, полученный при испарении, отводится с поверхности жидкости.

Сушку чаще всего осуществляют в растылильных сушилках. В таких сушилках (камерах) суспензию или коллоидный раствор разбрызгивают до капель размером 10-50 мкм, которые падают в объеме сушилки в потоке горячего воздуха или топливных газов. Поверхность соприкосновения капель материала с воздухом достигает  $300\ 000\ \text{м}^2$  на  $1\ \text{м}^3$  материала. В этих условиях скорость сушки значительно увеличивается, а ее продолжительность снижается до десятых долей секунды.

Для отделения высушенного материала от газового потока применяют циклоны, рукавные фильтры, электрофильтры. Начальная температура газов зависит от свойств материала и колеблется в пределах  $80\text{-}1000^\circ\text{C}$ . На выходе из сушильной камеры она составляет  $40\text{-}130^\circ\text{C}$ .

Сущность **огневого обезвреживания** сточных вод заключается в распылении их непосредственно в топочные газы, нагретые, до  $900\text{-}1100^\circ\text{C}$ . При этом вода полностью испаряется, а органические примеси сгорают до нетоксичных соединений (чаще всего, до диоксида углерода и водяных паров).. Находящиеся в воде минеральные вещества образуют твердые или оплавленные частицы, которые улавливают в циклонах или фильтрах. Данный метод целесообразен для обезвреживания небольшого объема сточных вод, содержащих высокотоксичные органические вещества, очистка которых другими методами невозможна или неэффективна. Кроме того, огневой метод предпочтителен, если имеются горючие отходы, которые можно использовать как топливо. Для сжигания промышленных стоков применяют печи различных конструкций, но предпочтение отдают циклонным печам. Благодаря вихревому характеру газового потока создается интенсивный тепло- и массообмен между каплями сточной воды и газообразными продуктами. Такие печи работают при больших удельных нагрузках. Смесь воздуха и природного газа, вводимая тангенциально в печь, совершает вращательное движение, перемещаясь вдоль оси цилиндра о

спирали. Сточную воду распыляют форсунками и сжигают. Недостаток таких печей - большой вынос минеральных солей с газовым потоком, если сточные воды помимо органических веществ содержат минеральные компоненты.

**Биохимические методы.** Эти методы применяют для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод от многих растворенных органических и некоторых неорганических (сероводорода, аммиака, сульфидов, нитритов и т.д.) веществ. Процесс очистки основан на способности определенных микроорганизмов использовать указанные вещества для питания: органические вещества для микроорганизмов являются источником углерода. Микроорганизмы частично разрушают их, превращая в  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , нитрат- и сульфат-ионы, частично используют для образования собственной биомассы. Процесс биохимической очистки по своей сути - природный, его характер одинаков для процессов, протекающих как в природных водоемах, так и в очистных сооружениях.

**Биологическое окисление** осуществляется сообществом микроорганизмов (биоценозом), включающим множество различных бактерий, простейших и более высокоорганизованных организмов (водорослей, грибов), связанных между собой в единый комплекс сложными взаимоотношениями. Это сообщество называют активным илом, он содержит от  $10^6$  до  $10^{14}$  клеток на 1 г сухой биомассы (около 3 г микроорганизмов на 1 литр сточной воды). Известны аэробные и анаэробные методы биохимической очистки сточных вод.

**Аэробный процесс.** Для его осуществления используются группы микроорганизмов, для жизнедеятельности которых необходимы постоянный приток кислорода ( $2 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ ), температура  $20-30^\circ\text{C}$ , рН среды 6,5-7,5, соотношение биогенных элементов БПК : N : P не более 100 : 5 : 1. Ограничением метода является содержание токсичных веществ не выше: тетраэтилсвинца  $0,001 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , соединений бериллия, гитана,  $\text{Cr}^{6+}$  и оксида углерода  $0,01 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , соединений висмута, ванадия, кадмия и никеля  $0,1 \text{ мг}/\text{л}$ , сульфата меди  $0,2 \text{ мг}/\text{л}$ , цианистого калия  $2 \text{ мг}/\text{дм}^3$ .

Аэробная очистка сточных вод проводится в специальных сооружениях: биологических прудах, аэротенках, окситенках, биофильтрах.

**Биологические пруды** предназначены для биологической очистки и для доочистки сточных вод в комплексе с другими очистными сооружениями. Их выполняют в виде каскада прудов, состоящих из 3—5 ступеней. Процесс очистки сточных вод реализуется по следующей схеме: бактерии используют для окисления загрязнений кислород, выделяемый водорослями в процессе фотосинтеза, а также кислород из воздуха. Водоросли, в свою очередь, потребляют оксид углерода, фосфаты и аммонийный азот, выделяемый при биохимическом разложении органических веществ. Поэтому для нормальной работы прудов необходимо соблюдать оптимальные значения рН и температуру сточной воды. Температура должна быть не менее  $6^\circ\text{C}$ , в связи с чем в зимнее время пруды не эксплуатируются.

Различают пруды с естественной и искусственной аэрацией. Глубина прудов с естественной поверхностной аэрацией, как правило, не превышает 1

м. При искусственной аэрации прудов с помощью механических аэраторов или продувки воздуха через толщу воды их глубина увеличивается до 3 м. Применение искусственной аэрации ускоряет процессы очистки воды. Следует указать и недостатки прудов: низкую окислительную способность, сезонность работы, потребность в больших территориях.

Сооружения для искусственной биологической очистки по признаку расположения в них активной биомассы можно разделить на две группы:

- активная биомасса находится в обрабатываемой сточной воде во взвешенном состоянии (аэротенки, окситенки);
- активная биомасса закрепляется на неподвижном материале, а сточная вода обтекает его тонким пленочным слоем (биофильтры).

*Аэротенки* - представляют собой железобетонные резервуары, прямоугольные в плане, разделенные перегородками на отдельные коридоры.

Для поддержания активного ила во взвешенном состоянии, интенсивного его перемешивания и насыщения обрабатываемой смеси кислородом воздуха в аэротенках устраиваются различные системы аэрации (чаще механическая или пневматическая). Из аэротенков смесь обработанной сточной воды и активного ила поступает во вторичный отстойник, откуда осевший на дно активный ил с помощью специальных устройств (илососов) отводится в резервуар насосной станции, а очищенная сточная вода поступает либо на дальнейшую доочистку, либо дезинфицируется. В процессе биологического окисления происходит прирост биомассы активного ила. Для создания оптимальных условий ее жизнедеятельности избыток ила выводится из системы и направляется в сооружения по обработке осадка, а основная часть в виде возвратного активного ила снова возвращается в аэротенки.

*Биофильтры* находят применение при суточных расходах производственных сточных вод до 20-30 тыс. м<sup>3</sup> в сутки. Биофильтры представляют собой резервуары круглой или прямоугольной формы в плане, которые заполняются загрузочным материалом. По характеру загрузки биофильтры разделяют на две категории: с объемной и плоскостной загрузкой. Объемный материал, состоящий из гравия, керамзита, шлака с крупностью фракций 15-80 мм, засыпается слоем высотой 2-4 м.

Плоскостной материал выполняется в виде жестких (кольцевых, трубчатых элементов из пластмасс, керамики, металла) и мягких (рулонная ткань) блоков, которые монтируются в теле биофильтра слоем толщиной 8 м.

*Анаэробный процесс.* Здесь происходит биологическое окисление органических веществ в отсутствие молекулярного кислорода за счет химически связанного кислорода в таких соединениях, как  $\text{SO}^{2-}$ ,  $\text{SO}^{2-}_3$ ,  $\text{CO}^{2-}_3$ . Процесс протекает в две стадии: на первой образуются органические кислоты, на второй стадии образовавшиеся кислоты преобразуются в метан и углекислый газ: органические соединения +  $\text{O}_2$  + кислотообразующие бактерии → летучие кислоты +  $\text{CH}_4$  +  $\text{CO}_2$  +  $\text{H}_2$  + новые клетки + другие

продукты → летучие кислоты +  $O_2$  + метанобразующие бактерии →  $CH_4$  +  $CO_2$  + новые клетки.

Основной процесс проводится в метантенках. В них перерабатывается активный ил и концентрированные сточные воды (обычно БПК > 5000), содержащие органические вещества, которые разрушаются анаэробными бактериями в ходе метанового брожения. Указанное брожение в естественных условиях протекает на болотах.

Основная цель анаэробной очистки — уменьшение объема активного ила или количества органических веществ в сточной воде, получение метана (до  $0,35 \text{ м}^3$  при нормальных условиях на 1 кг ХПК) и хорошо фильтрующего и без запаха осадка. Осадки после фильтрации могут быть использованы в качестве удобрения в растениеводстве (если содержание в них тяжелых металлов ниже ПДК). Получаемый в метантенках газ содержит до 75 % (об.) метана (остальное -  $CO_2$  и воздух) и используется в качестве горючего.

В то же время анаэробный процесс весьма чувствителен к залповым выбросам, что приводит к выходу из «строя» микрофлоры. На ее восстановление может быть потрачено от 1 до 6 месяцев. В связи с образованием метана этот процесс взрыво- и пожароопасен.

Биологическая очистка загрязненных вод может быть, помимо биологических прудов, осуществлена в естественных условиях, для чего используют специально подготовленные участки земли (поля орошения и фильтрации). В этих случаях для освобождения сточных вод от загрязняющих примесей используется очищающая способность самой почвы. Фильтруясь сквозь слой почвы, вода оставляет в ней взвешенные, коллоидные и растворенные примеси. Микроорганизмы почвы окисляют органические загрязняющие вещества, превращая их в простейшие минеральные соединения - диоксид углерода, воду, соли.

Поля орошения используются одновременно для очистки сточных вод и выращивания зерновых и силосных культур, трав, овощей, а также для посадки кустарников и деревьев. Поля фильтрации используются только для очистки сточных вод.

Земледельческие поля орошения (ЗПО) располагают на местности, имеющей уклон, ступенями для того, чтобы вода самотеком переливалась с одного участка на другой. Устройство ЗПО позволяет решать проблемы охраны окружающей среды, благоустройства города и развитие пригородного сельского хозяйства.

После биологической очистки сточных вод на искусственных сооружениях общее содержание в них бактерий уменьшается на 90-95%, а при очистке на ЗПО - на 99%. Для полного обеззараживания сточных вод их необходимо подвергнуть химическому обеззараживанию (хлором, озоном, пероксидом водорода, ультрафиолетом, ультразвуком).

**Очистка ионизирующим излучением.** В последние годы развивается новый безреагентный метод очистки сточных вод путем деструкции содержащихся органических примесей. Гамма-излучение от радиоактивных изотопов кобальта, цезия, йода и др.) производит такое же действие, как и

сильнейшие окислители (озон, хлор, пероксид водорода и др.). Иногда вместо изотопов сейчас применяют пучки электронов, генерируемых ускорителями с энергией электронов 5-6 МэВ. При ионизирующем излучении нарушается агрегативная устойчивость коллоидных систем (**радиационная коагуляция**), разрушаются и окисляются практически все органические и некоторые неорганические вещества (радиационная деструкция) с образованием простейших соединений, гибнет или инактивируется широкий круг вирусов и микроорганизмов (**радиационное обеззараживание**). Еще больший эффект дает сочетание сорбционного реактора (фильтра) с облучением пучком ускоренных электронов.

Современные работы по внедрению и эксплуатации электроннолучевой технологии показали, что достаточной для очистки сточных вод является энергия электронов, равная 1,0-2,5 МэВ. Мощность ускорителя, равная 80 кВт, создает ток пучка, равный 50 мА, а его производительность составляет 700—1000 м<sup>3</sup>/ч.

### 8.3. Очистка выбросов в атмосферу

Основным направлением охраны атмосферного воздуха от вредных выбросов должна быть разработка малотеходных и безотходных технологических процессов. Однако такую задачу следует полагать стратегической и рассчитанной на длительный период. А в настоящее время наиболее распространенным и технически более простым решением указанной проблемы является разработка эффективных систем очистки, улавливания и переработки газообразных, жидких и твердых примесей (рис. 8.1.).

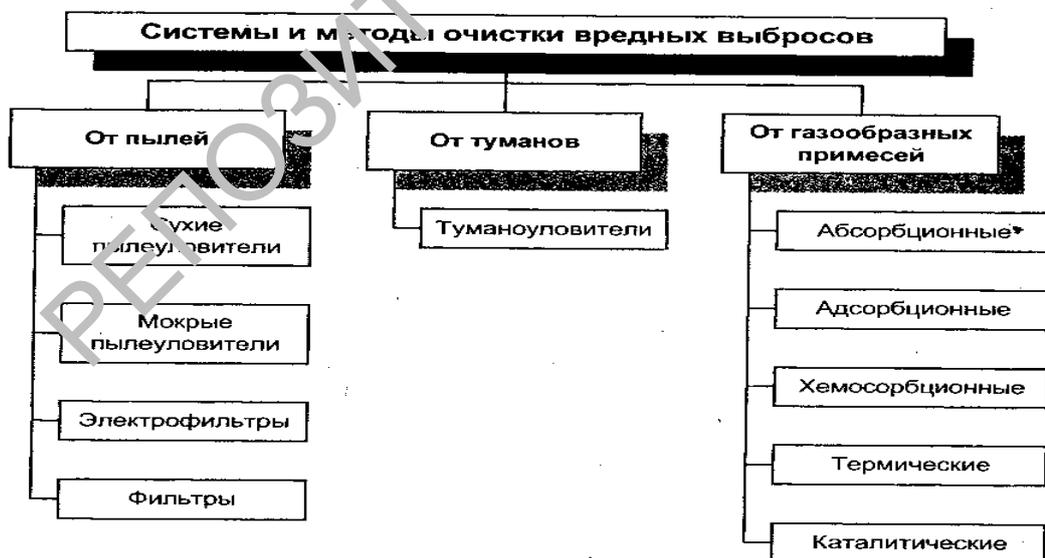


Рис.8.1. Системы и методы очистки вредных выбросов.

Для выбора очистного устройства и расчета всей системы очистки необходимо знать основные характеристики, в т. ч. эффективность, гидравлическое сопротивление и производительность.

Общая **эффективность очистки**  $\eta$  определяется по соотношению:

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

где  $C_{\text{вх}}$  и  $C_{\text{вых}}$  - массовые концентрации примеси в газе до и после аппарата (фильтра).

Если последовательно соединено несколько аппаратов, то общая эффективность очистки будет:

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

где  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$  — эффективность очистки 1-го, 2-го и  $n$ -го аппаратов.

Гидравлическое сопротивление  $\Delta p$  определяется как разность давлений воздушного потока на входе  $p_{\text{вх}}$  и выходе  $p_{\text{вых}}$  из аппарата. Величина  $\Delta p_{\text{вх}}$  находится экспериментально или рассчитывается по формуле:

$$\Delta p = p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}} = \epsilon \rho V^2 / 2,$$

где  $\rho$  и  $V$  — плотность и скорость воздуха в расчетном сечении аппарата;  $\epsilon$  — коэффициент гидравлического сопротивления.

Величина гидравлического сопротивления аппаратов имеет большое значение для расчета гидравлического сопротивления всей системы.

Производительность систем очистки показывает, какое количество воздуха проходит через нее в единицу времени ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ).

#### **Улавливание промышленных пылей**

**Промышленные пыли** в зависимости от механизма их образования подразделяют на следующие 4 класса: механическая пыль — образуется в результате измельчения продукта в ходе технологического процесса; возгоны — образуются в результате объемной конденсации паров веществ при охлаждении газа, пропускаемого через технологический аппарат, установку или агрегат; летучая зола — содержащийся в дымовом газе во взвешенном состоянии несгораемый остаток топлива, образуется из его минеральных примесей при горении; промышленная сажа — входящий в состав промышленного выброса твердый высокодисперсный углерод, образуется при неполном сгорании или термическом разложении углеводородов.

Основной параметр, характеризующий взвешенные частицы, — это их размер, который колеблется в широких пределах — от 0,1 до 850 мкм. Из этой гаммы наиболее опасны для человека частицы от 0,5 до 5 мкм.

Аппараты обеспыливания газов можно разбить на 4 группы: 1) сухие пылеуловители — механические устройства, в которых пыль отделяется под действием сил тяжести, инерции или центробежной силы; 2) мокрые, или гидравлические, аппараты, в которых твердые частицы улавливаются жидкостью; 3) пористые фильтры, на которых оседают мельчайшие частицы пыли; 4) электрофильтры, в которых частицы осаждаются за счет электрической ионизации газа и содержащихся в них пылинок.

**Сухие пылеуловители.** К этим устройствам относятся осадительные камеры, инерционные пылеуловители, циклоны.

Весьма простыми устройствами являются пылеосадительные камеры, в которых за счет увеличения сечения воздухопровода скорость пылевого потока резко падает, вследствие чего частицы пыли выпадают под действием сил

тяжести. Пылеосадительные камеры используют для очистки от крупных частиц пыли и применяют в основном для предварительной очистки воздуха. Эффективность улавливания в них зависит от времени пребывания газов в камере и расстояния, проходимого частицами под действием гравитационных сил. В свою очередь время пребывания газов зависит от объема камеры и скорости потока.

Эффективными пылеуловителями являются инерционные аппараты, в которых пылевой поток резко изменяет направление своего движения, что способствует выпадению частиц пыли. К ним относятся аппараты, в которых действие удара о препятствие используется в большей степени, чем инерция. Широко распространенными инерционными пылеуловителями являются **циклоны**. В них частицы пыли движутся вместе с вращающимся газовым потоком и под воздействием центробежных сил оседают на стенках. Циклоны широко применяются для улавливания частиц размерами около 10 мкм при скоростях газового потока от 5 до 20 м/с. По конструкции циклоны подразделяются на циклические, конические и прямоугольные.

Эффективность улавливания частиц пыли в циклоне пропорциональна линейной скорости газов в степени  $1/2$  и обратно пропорциональна диаметру аппарата в степени также  $1/2$ . Так что процесс целесообразно вести при больших линейных скоростях газового потока и небольших диаметрах циклонов. Однако увеличение скорости может привести к резкому увеличению гидравлического сопротивления. Поэтому целесообразно увеличивать эффективность циклона за счет уменьшения диаметра аппарата, а не за счет роста скорости газа.

Средняя эффективность обеспыливания газов в циклонах составляет 0,98 при размере частиц пыли 30-40 мкм, 0,8 - при 10 мкм, 0,6 - при 4-5 мкм. Производительность циклонов лежит в диапазоне от нескольких сот до десятков тысяч кубических метров в час. Преимущество циклонов — простота конструкции, небольшие размеры, отсутствие движущихся частей; недостатки — затраты энергии на вращение и большой абразивный износ частей аппарата пылью.

При больших расходах очищаемых газов применяют групповую компоновку циклонов (батарею). Это позволяет не увеличивать диаметр циклона, что положительно сказывается на эффективности очистки. Запыленный газ входит через общий коллектор, а затем распределяется между циклонными элементами.

Кроме циклонов, применяются и другие типы сухих пылеуловителей, например, ротационные, вихревые, радиальные. При общих принципах действия они различаются системами пылеулавливания и способами подачи воздуха. К наиболее эффективным следует отнести ротационный пылеуловитель. Благодаря активному действию такие системы имеют эффективность 0,95—0,97.

В основе работы **пористых фильтров**, предназначенных для тонкой очистки, лежит процесс фильтрации газов через пористую перегородку, в

результате чего твердые частицы задерживаются, а газ полностью проходит сквозь неё.

Перегородки применяемые в фильтрах, могут быть различных типов:

- в виде неподвижных зернистых слоев, например гравия. Такие фильтры дешевы, просты в эксплуатации, их эффективность 0,99. Они используются для очистки от пылей механического происхождения (мельниц, дробилок, грохота);
- гибкие пористые (различные ткани, войлоки, губчатая резина, пенополиуретан). Указанные фильтры широко используются для тонкой очистки газов от примесей, но имеют и недостатки: относительно низкая термостойкость, малая прочность;
- полужесткие пористые (прессованные спирали и стружка, вязанные сетки). Такие фильтры изготавливаются из различных сталей, меди, бронзы, никеля и других металлов. Они могут работать при повышенных температурах и в агрессивных средах;
- жесткие пористые (пористая керамика, пористые металлы).

Фильтры последнего типа технологичны и находят широкое применение для очистки горючих газов и жидкостей выбросов дыма, туманов, кислот, масел, так как материалы (керамика, металлы) обладают высокой прочностью, коррозионной стойкостью и жаропрочностью (выдерживают 500°C).

Из пористых фильтров наибольшее распространение получили рукавные фильтры, что обусловлено созданием в последнее время новых температуростойких и устойчивых к воздействию агрессивных газов тканей, например, стекловолокно выдерживает температуру 250°C.

Корпус фильтра представляет собой металлический шкаф, разделенный вертикальными перегородками на секции, в каждой из которых размещена группа фильтрующих рукавов. Верхние концы рукавов заглушены и подвешены к раме, соединенной с встряхивающим механизмом. Внизу имеется бункер со шнеком для выгрузки пыли.

В типичных фильтровальных тканях размер сквозных пор между нитями составляет 100—200 мкм. Остаточная концентрация пыли после тканевых фильтров составляет 10—50 мг/м<sup>3</sup>. Эффективность таких фильтров достигает 0,99 для частиц размером более 0,5 мкм. Удельный расход энергии — 0,3—0,6 кВтч на 1000 м<sup>3</sup> газа.

В *электрофильтрах* очистка газов от пыли происходит под действием электрических сил. В процессе ионизации молекул газов электрическим разрядом происходит заряд содержащихся в них частиц (коронирующий электрод). Ионы адсорбируются на поверхности пылинок, а затем под действием электрического поля пылинки перемещаются к осадительным электродам. Зарядка частиц в поле коронного разряда происходит по двум механизмам: воздействием электрического поля (частицы бомбардируются ионами, движущимися в направлении силовых линий поля) и диффузией ионов. Первый механизм преобладает при

размерах частиц более 0,5 мкм, второй – менее 0,2 мкм. Для частиц диаметром 0,2–0,5 мкм эффективны оба механизма. Максимальная величина заряда частиц размером более 0,5 мкм пропорциональна квадрату диаметра частиц, а частиц размером меньше 0,2 мкм – диаметру частицы.

По способу удаления осажденной на электродах пыли электрофильтры делятся на сухие и мокрые. В *сухих электрофильтрах* пыль удаляется с электродов путем встряхивания. Нормальная работа сухих аппаратов обеспечивается при температуре очищаемых газов выше температуры точки росы, что необходимо для предотвращения конденсации влаги и увлажнения осажденной пыли. Появление влаги в сухих аппаратах может вызвать осложнение при удалении пыли с электродов и их коррозию.

В *мокрых электрофильтрах* удаление пыли производится путем смыва ее с поверхности электродов орошающей жидкостью. Температура очищаемого газа при этом должна быть выше или близкой к температуре точки росы. Мокрые электрофильтры могут также применяться для улавливания из газовых потоков жидких частиц в виде тумана или капель. В этом случае применяются аппараты без устройства для промывки электродов, так как осажденная влага самостоятельно стекает с них.

Электрофильтры способны очищать большие объемы газов от пыли с частицами размером от 0,01 до 100 мкм при температуре газов до 400–450°C. Затраты электроэнергии составляют 0,36–1,8 МДж на 1000 м<sup>3</sup> газа. Эффективность работы электрофильтров зависит от свойств пыли и газа, скорости запыленного потока в сечении аппарата и т.д. Чем выше напряженность поля и меньше скорость газа в аппарате, тем лучше улавливается пыль.

Эксплуатационные затраты на содержание и обслуживание электрофильтров, установленных на электростанциях, составляют около 3% общих расходов.

**Мокрые пылеуловители.** Указанные устройства имеют одну весьма важную особенность: они обладают высокой эффективностью очистки от мелкодисперсной (менее 1 мкм) пыли. Имеются и другие достоинства, среди которых: 1) относительно небольшая стоимость и высокая эффективность улавливания взвешенных частиц; 2) возможность очистки газов при относительно высокой температуре и повышенной влажности, а также при опасности возгорания и взрывов очищенных газов или уловленной пыли. В качестве существенного недостатка можно указать на то, что уловленная пыль представлена в виде шлама, а это вызывает необходимость обработки сточных вод, т. е. удорожает процесс.

Работают указанные системы по принципу осаждения частиц пыли на поверхность капель (или пленки) жидкости под действием сил инерции и броуновского движения.

Конструктивно мокрые пылеуловители разделяют на форсуночные скрубберы и скрубберы Вентури, а также аппараты ударно-инерционного, барботажного и других типов (рис.8.2.).

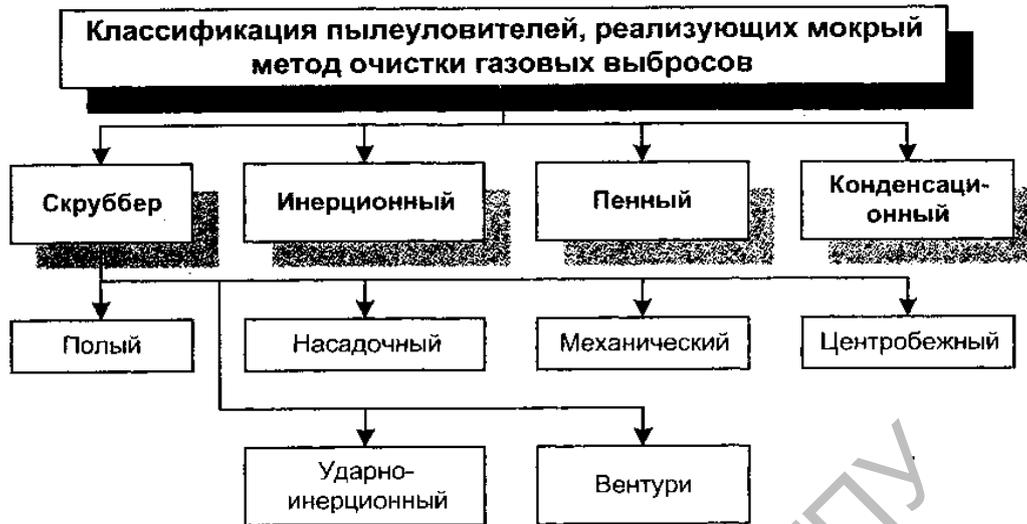


Рис.8.2. Классификация мокрых пылеуловителей

Большое распространение (в основном из-за простоты конструкции) получили полые **форсуночные скрубберы**. Они представляют собой колонну круглого сечения, в которой осуществляется контакт между запыленным газом и каплями жидкости (обычно водой). Высота скруббера составляет  $\sim 2,5$  ее диаметра. Удельный расход орошающей жидкости выбирают в пределах  $0,5\text{—}8\text{ л/м}^3$  газа.

Более эффективными мокрыми пылеуловителями являются **скрубберы Вентури**, у которых эффективность очистки достигает  $0,97\text{—}0,98$ , расход воды  $0,4\text{—}0,6\text{ л/м}^3$  газа. Полый скруббер представляет собой колонну круглого сечения, в нее подается жидкость через систему форсунок, число которых может достигать  $14\text{—}16$  по сечению колонны. В **насадочном скруббере** используется система поперечного орошения с наклонно установленной насадкой. Эффективность таких систем достигает  $0,9$ .

Среди систем мокрой пылеочистки высокая эффективность отмечена в скрубберах ударно-инерционного действия. В этих аппаратах контакт газов с жидкостью осуществляется при ударе газового потока о поверхность жидкости с последующим пропусканием газожидкостной взвеси через отверстия различной конфигурации или непосредственным отводом газожидкостной взвеси в сепаратор жидкой фазы.

Надежной и простой конструкцией мокрого пылеуловителя является **промывная башня** (скруббер), заполненная кольцами Рашига, стекловолокном или другими насадками.

Запыленный газ подается снизу вверх через распыляющее устройство. Одновременно сверху вниз поступает вода. В том случае, когда пыль является плохо смачиваемым веществом, в воду добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Расход энергии составляет  $2\text{ кВт}\cdot\text{ч}/1000\text{ м}^3$  газа.

К недостаткам процесса мокрого пылеулавливания относят: а) возможность щелочной или кислотной коррозии при очистке некоторых газов; б) ухудшение условий последующего рассеивания через заводские трубы очищенного, но увлажненного газа, тем более охлажденного (снижается подъемная сила); в) происходит загрязнение отводимой из аппарата воды вредными для водоемов ПАВ.

Весьма эффективны комбинированные методы очистки от пыли. Так, хорошие результаты дает очистка агломерационных газов в батарейных циклонах с последующей доочисткой в скрубберах Вентури, а также в электрофильтрах.

### Основные принципы выбора метода и аппаратуры очистки газовых выбросов от твердых частиц и аэрозолей

Выбор метода и оборудования, обеспечивающих необходимую степень очистки, зависит от большого числа параметров, среди которых основным является эффективность работы системы по отношению к преобладающим в потоке частицам. Приведенная в табл.8.1. информация позволяет провести первоначальную оценку возможностей различных пылеочистных устройств. В процессе выбора оборудования необходимо учитывать степень неравномерности газового потока, так как 10%-ное отклонение от номинальных регламентированных значений является обычным явлением на предприятии.

Таблица 8.1.

Зависимость эффективности улавливания от фракционного состава твердых частиц и аэрозолей в газовом потоке для различных типов оборудования.

Тип оборудования	Общая эффективность, %	Эффективность улавливания, %				
		<5мкм	5-10 мкм	10-20 мкм	20-40 мкм	> 40 мкм
Пылеосадительная камера	58,6	7,5	22	43	80	90
Обычный циклон	65,3	12	33	57	82	91
Циклон с удлиненным конусом	84,2	40	79	92	95	97
Электрофильтр	97	72	94,5	97	99,5	100
Полый скруббер, орошаемый водой	98,5	90	96	98	100	100
Скруббер Вентури	99,5	99	99,5	100	100	100
Рукавный фильтр	99,7	99,5	100	100	100	100

На выбор оборудования и материалов для его изготовления оказывают влияние химические и физические свойства загрязнителей, а также их концентрация в очищаемом газе, поскольку при высоких ее значениях (выше 230 г/м<sup>3</sup>) обычно вводится стадия предварительной очистки. Необходимо принимать во внимание также температуру, давление, влажность газового потока, возможность остановки газоочистного оборудования для текущего ремонта и ряд других факторов.

Поскольку с развитием техники происходит постоянное улучшение отдельных характеристик газоочистного оборудования, детальное сравнение

различных устройств следует проводить по соответствующим каталогам. Однако основные принципы выбора наиболее широко используемого оборудования неизменны.

Так, циклоны обычно используются в тех случаях, когда пыль крупнодисперсная, ее концентрация превышает  $2 \text{ г/м}^3$  и не требуется высокой эффективности улавливания.

Скрубберы мокрого типа целесообразно использовать, если 1) мелкие частицы должны улавливаться с относительно высокой эффективностью, 2) желательна охладка газа, а повышение его влажности не служит препятствием, 3) газы представляют опасность в пожарном отношении и 4) необходимо улавливать как твердые, так и газообразные вещества.

Тканевые фильтры (рукавные) используются в тех случаях, когда необходима очень высокая эффективность улавливания, пыль представляет собой ценный продукт, который необходимо собрать в сухом виде, объемы очищаемых газов относительно невелики, температура относительно низка (лимитирует термостабильность материала ткани).

Электрофильтры применяют, если для улавливания мелких частиц необходима высокая эффективность, обработка подлежат очень большие объемы газа и необходимо утилизировать ценные продукты.

#### **Очистка выбросов от токсичных газов и парообразных примесей**

С этой целью разработаны три основные группы методов очистки: 1) промывка выбросов растворителями содержащейся в них примеси (абсорбционный метод); 2) поглощение газообразных примесей твердыми телами с ультрамикроскопической структурой (адсорбционный метод) и 3) обезвреживание примесей путем каталитического превращения в менее опасные вещества.

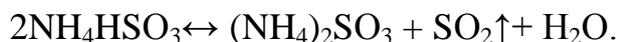
**Метод абсорбции** состоит в том, что газоздушная смесь разделяется на составные части путем поглощения одной или нескольких примесей поглотителем (**абсорбентов**) с образованием раствора. Так, с целью удаления из выбросов таких газообразных веществ, как  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HCl}$  и др., можно применять в качестве поглотительной жидкости воду. Для улавливания ароматических углеводородов из коксового газа — вязкие масла.

Абсорбция может быть физической или химической, когда абсорбент и поглощаемый компонент не взаимодействуют или, напротив, взаимодействуют с образованием нового вещества. В последнем случае процесс называется **хемосорбцией**. Большинство реакций, сопровождающих хемосорбцию, являясь экзотермическими (идут с выделением тепла) и обратимыми. Поэтому при последующем повышении температуры раствора образовавшееся химическое соединение разлагается с выделением исходных компонентов. Так, для очистки выбросов от диоксида серы применяется аммиачно-циклический метод. Он основан на способности  $\text{NH}_3$  и  $\text{SO}_2$  в водных растворах образовывать нормальную и кислую соли:





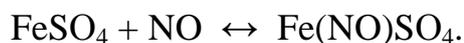
По мере накопления в растворе гидросульфита аммония он может быть регенерирован нагреванием до 90—95°C, в результате чего выделяется диоксид серы:



Раствор сульфита аммония затем вновь направляется на поглощение  $\text{SO}_2$ .

Упругость паров диоксида серы над растворами сульфит-гидросульфита аммония падает с понижением температуры. Вследствие этого необходимая степень извлечения достигается только после охлаждения их до 30—35°C. Метод позволяет получать 95%  $\text{SO}_2$ , являющейся сырьем для производства серной кислоты.

Аналогичная схема с регенерацией хемосорбента используется при очистке выбросов от монооксида азота. Для абсорбции применяют растворы  $\text{FeSO}_4$ , которые образуют комплексы:

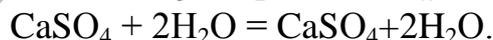


При нагреве до 95-100°C этот комплекс распадается, и  $\text{NO}$  выделяется в чистом виде, а раствор  $\text{FeSO}_4$  после охлаждения до 20-25°C вновь возвращают в цикл.

Технологически более простыми являются методы без регенерации сорбентов. Например, диоксид серы можно поглощать суспензией известняка  $\text{CaCO}_3$ . При этом протекают следующие реакции:



Образующийся сульфит кальция способен окисляться кислородом до сульфата кальция — гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , являющегося ценным строительным материалом:



В установке предусмотрена циркуляция суспензии с периодически отбором сульфата кальция. Для завершения процессов кристаллизации циркулирующую жидкость выдерживают в сборниках. Гипс отделяют на центрифугах или фильтрах.

В промышленных абсорберах жидкость дробится на мелкие капли для обеспечения более высокого контакта с газовой средой.

Все аппараты жидкостной абсорбции делятся на три типа: колонные, тарельчатые и насадочные абсорберы. На практике чаще всего используют насадочные и пустотелые абсорберы с форсунками.

Если очищаемые газы содержат пыль, то ее предварительно улавливают, а затем газовый поток направляется в абсорбционную установку. Абсорбционные методы применяются для очистки газов от сероводорода, сероуглерода, меркаптанов, оксидов серы, азота и углерода, галогенов и их соединений.

**Адсорбционный метод** позволяет извлекать вредные компоненты из промышленных выбросов с помощью **адсорбентов** — твердых тел с ультрамикроскопической структурой, обеспечивающей им очень высокое значение удельной поверхности (десятки и сотни м<sup>2</sup>/г). К таким адсорбентам относятся, например, активный уголь и глинозем, силикагель, цеолиты и другие вещества.

Адсорбционные методы применяют для очистки газов с невысоким содержанием газообразных примесей. В отличие от абсорбционных методов они позволяют проводить очистку при повышенных температурах.

Различают физическую и химическую адсорбцию (хемосорбцию). При физической адсорбции поглощаемые молекулы газов и паров удерживаются силами Ван-дер-Ваальса, при хемосорбции — химическими силами.

Адсорберы конструктивно выполняются в виде вертикальных или горизонтальных емкостей, заполненных адсорбентом, через который проходит очищаемый газ.

Активные угли характеризуются гидрофобностью (плохой сорбируемостью полярных веществ, к которым принадлежит и вода). Это свойство определяет широкое использование их на практике очистки отходящих газов разнообразной влажности.

Активные угли сильно адсорбируют органические вещества — многоатомные углеводороды и их производные, слабее — низшие спирты. Получают термической обработкой угля-сырца или древесной массы без доступа воздуха.

**Силикагели** по своей химической природе представляют собой аморфные кремнеземы  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Служат для поглощения полярных веществ, в том числе паров воды и ряда органических соединений. Высокое сродство к парам воды обуславливает широкое использование силикагелей для осушки разнообразных газовых сред.

**Алюмогели** (активный оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , где  $0 < n < 0,6$ ) получают прокаливанием различных гидроксидов алюминия. Используют, как и силикагели, для улавливания полярных органических соединений и осушки газов.

**Цеолиты** представляют собой алюмосиликаты, содержащие в своем составе оксиды щелочных и щелочно-земельных металлов и характеризующиеся регулярной структурой пор, размеры которых соизмеримы с размерами улавливаемых молекул, что определило и другое их название — «молекулярные сита». Поглощение веществ происходит в адсорбционных полостях цеолитов, соединяющихся друг с другом входными окнами строго определенных размеров. Проникать через окна могут лишь те молекулы, диаметр которых меньше диаметра входного окна.

Цеолиты различных марок получают синтетическим путем или добывают при разработке природных месторождений. Одни цеолиты могут адсорбировать сероводород, сероуглерод, аммиак, низшие диеновые и ацетиленовые углеводороды, этан, этилен, пропилен, другие - органические

сернистые, азотистые и кислородные соединения, третьи - спирты нормального строения.

Процесс очистки выбросных газов - циклический при пониженных температурах, с периодической регенерацией насыщенных адсорбентов при нагревании до 100-400°C.

Адсорбционные методы широко применяются при производстве, хранении и использовании летучих растворителей, потери которых с выбросными газами достигают 800-900 тыс. т/год. Улавливание паров растворителей возможно любыми адсорбентами. Однако активные угли, являющиеся гидрофобными сорбентами, наиболее предпочтительны для решения этой задачи: при относительной влажности очищаемых газов до 50% влага практически не влияет на сорбируемость паров органических растворителей.

**Хемосорбционная очистка** отходящих газов может быть организована на основе различных твердых веществ, способных вступать в химическое взаимодействие с удаляемыми компонентами. Например, для улавливания диоксида серы из дымовых газов теплоэнергетических агрегатов в их топки вдувают тонкоразмолотые известняк  $\text{CaCO}_3$  или доломит  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ . Карбонаты вначале разлагаются:



затем образуется сульфит кальция:



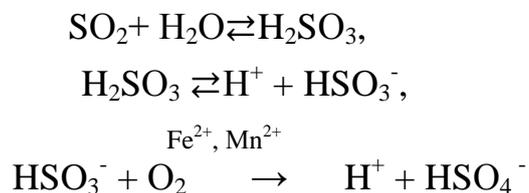
который частично или полностью переходит в сульфат:



Пылевидные частицы сульфата вместе с летучей золой улавливаются в соответствующих аппаратах и направляются на золоотвалы. Подобный метод очистки не предусматривает ни рекуперации улавливаемого компонента ( $\text{SO}_2$ ), ни регенерации адсорбента ( $\text{CaCO}_3$ ). Его достоинство — в простоте технологической схемы.

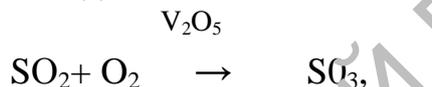
Суть **каталитической газоочистки** заключается в конверсии (превращении) токсичных примесей в другие продукты (мало- или нетоксичные) в присутствии катализаторов. При этом различают гомогенный и гетерогенный катализ. В случае гомогенного катализа катализатор и реагирующие вещества образуют одну фазу (газ или раствор). В случае гетерогенного катализа катализатор находится в системе в виде самостоятельной фазы. На практике в ходе эксплуатации катализаторы подвергаются постепенной дезактивации или деструкции. Последние вызываются химическими (отравление каталитическими ядами) или физическими (механическое истирание, спекание) факторами и обуславливают необходимость периодической замены катализаторов. В этой связи к промышленным катализаторам предъявляют требования в отношении высокой стойкости к каталитическим ядам, механическим и термическим нагрузкам.

Примером гомогенного катализа может служить жидкофазное окисление диоксида серы в присутствии ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$ . В насадочный абсорбер, орошаемый водным раствором солей железа и марганца, подается дымовой газ от теплоэнергетической установки. Орошающий раствор поглощает из газа  $\text{SO}_2$  и кислород воздуха, взаимодействие между которыми включает ряд стадий:



При этом образуется 20%-ная серная кислота, содержащая соли железа и марганца. Она может быть использована в сельском хозяйстве как мелиорант солонцов содового засоления.

Выбросные газы, содержащие примеси  $\text{SO}_2$ , можно окислять и на твердофазных катализаторах (оксидах ванадия, железа, хрома), предварительно подогрев газы до 400-450°C:



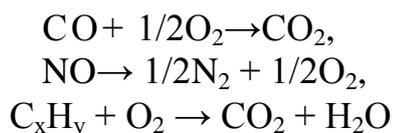
Триоксид серы затем энергично поглощается водой с образованием серной кислоты.

Каталитическая очистка промышленных выбросов применяется для обезвреживания широкого спектра токсичных ингредиентов: оксидов азота, монооксида углерода, паров органических веществ, включая сероорганические соединения (сероуглерод, тиофены, меркаптаны, дисульфиды). В качестве катализаторов используются металлы платиновой группы (палладий, рутений, платина, родий) или более дешевые, но менее эффективные составы, включающие никель, хром, цинк, кобальт, марганец, церий и другие элементы. С целью увеличения поверхности контакта их наносят на пористые или непористые материалы: металлические ленты или сетки, керамические соты или решетки, оксид алюминия, силикагель, изготавливают в виде гранул, зерен, таблеток различной формы.

Все шире применяются гетерогенные катализаторы для очистки выхлопных газов автомобилей от оксида углерода, оксида азота и углеводородов.

Характерной особенностью катализаторов является их высокая селективность, т. е. избирательность действия относительно какой-либо химической реакции. Это означает, что катализатор окисления  $\text{CO}$ , скорее всего, не может ускорять разложение  $\text{NO}$ . Однако известны случаи проявления катализаторами более широких функциональных возможностей. Например, в производстве углеграфитовых электродов отходящие газы цехов обжига содержат монооксид углерода  $\text{CO}$ , оксид азота  $\text{NO}$  и полицикли-

ческие ароматические углеводороды (ПАУ)  $C_xH_y$ . Для детоксикации каждого ингредиента:



известен свой специфический катализатор, работающий в определенном температурном интервале.

Недавно удалось найти новый катализатор, способный одновременно ускорять эти 3 реакции. Им оказался муллитокремнезем  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ . Его получают плавкой оксидов алюминия  $Al_2O_3$  и кремния  $SiO_2$ , смешиваемых в соотношении 1:1 с последующим образованием волокон методом раздува. Из волокон формируют вату, фетр, рулоны. Очищаемые газы печей обжига, подогретые до 450-480°C, поступают, в реактор, где проходят через слой муллитокремнеземистого рулонного материала с общей площадью фильтрации -100 м<sup>2</sup>. При этом степень очистки составляет: от CO -96%, ПАУ -80%, NO -60%.

Одним из перспективных подходов к решению проблемы очистки газовых выбросов является применение фотокаталитических методов. Они используют принципы гетерогенного катализа, основанного на окислении широкого спектра органических веществ, а также CO и аммиака. На поверхности оксида титана  $TiO_2$  под действием мягкого ультрафиолетового излучения очищаемый газ проходит пористый катализатор с развитой удельной поверхностью 250-300 м<sup>2</sup>/г, который облучается лампой ультрафиолетового диапазона. Органические примеси окисляются до  $CO_2$  и водяных паров, CO до  $CO_2$ , а  $NH_3$  до молекулярного азота и водяных паров.

Метод применим при тщательной предварительной очистке газов от пыли и при сравнительно невысокой концентрации экотоксикантов в очищаемых газоздушных выбросах.

**Термическое обезвреживание** или высокотемпературное дожигание применяют для легкоокисляемых токсичных, а также дурнопахнущих примесей. Его преимуществами являются относительная простота аппаратного оформления и универсальность использования, так как на работу термических нейтрализаторов мало влияет состав обрабатываемых газов. Подобные способы широко используют в лакокрасочных производствах, процессах получения многих видов химической, электротехнической и электронной продукции, в пищевой индустрии, при обезвреживании и окраске деталей и изделий. Они применимы для обезвреживания практически любых паров и газов, продукты сжигания которых менее токсичны, чем исходные вещества. В случае органических веществ продуктами сжигания являются водяные пары и диоксид углерода.

Прямое сжигание используют в тех случаях, когда концентрация горючих веществ входит в пределы воспламенения. Процесс проводят в обычных или усовершенствованных топочных устройствах, в

промышленных печах и топках капельных агрегатов, а также в открытых факелах.

Конструкция нейтрализатора должна обеспечивать необходимое время пребывания обрабатываемых газов в аппарате при температуре, гарантирующей возможность достижения заданной степени их обезвреживания (нейтрализации). Время пребывания обычно составляет 0,1-0,5 с, рабочая температура в большинстве случаев ориентирована на температуру самовоспламенения обезвреживаемых газов (табл. 8.2.) и превосходит ее на 100-150°C.

Таблица 8.2.

Температуры самовоспламенения  $t_v$  наиболее распространенных загрязнителей промышленных выбросов

Вещество-загрязнитель	$t_v, ^\circ\text{C}$	вещество-загрязнитель	$t_v, ^\circ\text{C}$
<i>Ацетон</i>	538	<i>Крезол</i>	552
<i>Бензол</i>	579	<i>Метанол</i>	472
<i>Бутадиен</i>	449	<i>Толуол</i>	552
<i>Глицерин</i>	303	<i>Фенол</i>	715

Однако обычно содержание горючих примесей в отходящих газах значительно меньше нижнего предела воспламенения, что вызывает необходимость существенных затрат дополнительного топлива и утилизации тепла процесса сжигания с целью сокращения этих затрат.

Столь простые технологические схемы составляют большинство, хотя существуют исключения. Они касаются, в частности, обезвреживания так называемых стойких органических загрязнителей, к которым относятся и полихлорбифенилы (ПХБ). Все они попадают под юрисдикцию Стокгольмской Конвенции по стойким органическим загрязнителям биосферы (май, 2004 г.) и должны быть обезврежены. Высокая химическая и термическая стойкость ПХБ, обуславливающая ценные потребительские свойства их при изготовлении и эксплуатации электротехнического оборудования, становится затем препятствующим фактором при организации термической детоксикации. В процессе горения хлорорганических соединений возможно образование хлороводорода  $\text{HCl}$ , хлора  $\text{Cl}_2$ , фосгена  $\text{COCl}_2$  и диоксина - веществ весьма токсичных. Поэтому процедура обезвреживания ПХБ - сложная, многоступенчатая и дорогостоящая.

**Биологические (биохимические) методы очистки** основаны на способности микроорганизмов разрушать практически любые соединения как природного, так и искусственного происхождения. При фильтрации загрязненных дымовых газов через носитель биомассы, предварительно пропитанный на воздухе питательным раствором для развития микроорганизмов, улавливаются газообразные органические вещества. Последние далее разлагаются под воздействием ферментов (катализаторов природного происхождения), вырабатываемых микроорганизмами. Частично эти вещества расходуются на прирост биомассы, а частично окисляются до

CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O; выделяющаяся при этом энергия обеспечивает жизнедеятельность микроорганизмов.

Важнейшими элементами питания и последующего развития микроорганизмов служат кислород, водород, углерод, азот, сера, фосфор, кальций, магний, калий и железо. В процессе газоочистки часть этих элементов микроорганизмы получают, потребляя органические компоненты фильтруемого (очищаемого) газа, другую часть — из питательного раствора, смачивающего носители биомассы. Например, в случае очистки выбросных газов от фенола, формальдегида и фурилового спирта питательный раствор содержит нитрат аммония NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, дигидрофосфат калия KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, сульфат магния MgSO<sub>4</sub>, хлориды кальция CaCl<sub>2</sub> и железа FeCl<sub>3</sub>, а также лигносульфонаты.

**Биофильтр** представляет собой аппарат высотой 3,5 м, в поперечном сечении - квадрат со стороной 2 м. Производительность по очищаемому газу - 10000-14000 м<sup>3</sup>/ч. Максимальная концентрация токсичных веществ на входе - до 1,5 г/м<sup>3</sup>. Основой биофильтра является специально полученная для конкретных условий культура микроорганизмов (биомасса), которая окисляет органические соединения до CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O. Срок службы ее практически не ограничен. Носителями биомассы могут быть различные материалы природного происхождения: древесные опилки, солома злаковых культур и др. Питательный раствор постоянно орошает носители биомассы, уложенные на горизонтальных решетках. Важное условие нормальной работы биофильтра - строгое соблюдение температурного режима внутри его: 20-35°C.

Биологический метод очистки — универсален. Он предназначен для обезвреживания выбросов от широкого спектра органических соединений (стирола, ксилола, толуола, бензола, этанола, этилацетата, фенола, формальдегида, фурилового спирта и др.) промышленных предприятий, обувных, мебельных и кожевенных фабрик, а также для дезодорации вентиляционных выбросов на мясоперерабатывающих и рыбоперерабатывающих предприятиях.

#### **8.4. Реабилитация природных ландшафтов и нарушенных земель**

Под **мелиорацией** понимается система организационно-хозяйственных и технических мероприятий, направленных на улучшение земель в целях создания наиболее благоприятных условий для развития сельского хозяйства или общего оздоровления природной среды.

Мелиорация не только повышает продуктивность сельского хозяйства, но и создает базу для его устойчивого развития в различные по погодным условиям годы во всех природных зонах, обеспечивает гарантированные высокие урожаи сельскохозяйственных культур.

Объектами мелиорации были земли:

- с неблагоприятными условиями водно-воздушного режима (болота и заболоченные земли, засушливые степи, полупустыни и пустыни);
- земли с неблагоприятными физическими и химическими свойствами (засоленные, тяжелые глинистые почвы, пески и т. д.);

- земли, подверженные механическому воздействию воды или ветра (овраги, легко размываемый почвенный покров, склоновые территории), на которых осуществляются противоэрозионные мероприятия.

В зависимости от объекта и способа воздействия на почву и растения различают гидротехническую, агротехническую, лесотехническую, химическую и культуртехническую мелиорацию.

Наиболее существенное влияние на улучшение природных условий для развития сельскохозяйственных растений оказывает **гидротехническая мелиорация** (орошение, обводнение и осушение), изменяющая водно-воздушный режим почвы. Для этого строятся оросительные и осушительные каналы, трубопроводы, создаются водохранилища и плотины.

**Агротехническая мелиорация** изменяет физические и химические свойства почвы, содержание различных питательных элементов и обеспечивает в конечном итоге повышение ее плодородия. Она включает различные виды вспашек, почвоуглубление, задержание крутых склонов, улучшение лугов и пастбищ, снегозадержание.

Под **лесотехнической мелиорацией** подразумевается улучшение земель путем выращивания древесной растительности. Сюда относятся облесение местности, закрепление движущихся песков, создание защитных лесных полос и т. д.

**Химическая мелиорация** применяется для улучшения свойств земель путем внесения химических препаратов.

**Культуртехническая мелиорация** позволяет улучшать состояние поверхности почвы путем удаления камней, пней, кустарника, планировки поверхности.

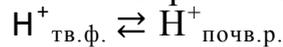
**Химическая мелиорация почв.** Целью такой мелиорации является коренное улучшение состава, структуры и химических свойств почв и, как следствие, сохранение и повышение их плодородия. Наряду с устранением природных неблагоприятных агрохимических показателей почв в задачи химической мелиорации (особенно в последнее время) входит предотвращение или ослабление отрицательных последствий интенсификации сельского хозяйства — длительного орошения и осушения, массового применения химических средств защиты растений и т. п., которые нередко приводят к ухудшению гумусного состояния почв, их структуры, кислотно-основных и других характеристик.

Объектами химической мелиорации являются прежде всего ионообменные и коллоидно-химические свойства почвы, ее кислотно-основные характеристики, солевой и микроагрегатный состав; все они во взаимосвязи определяют химико-мелиоративное состояние почвы.

**Реакция почвенного раствора.** В зависимости от реакции почвенного раствора почвы обычно подразделяются на шесть групп: сильнокислые (рН 3-4), кислые (рН 4-5), слабокислые (рН 5-6), нейтральные (рН 6-7), слабощелочные (рН 7-8) и сильнощелочные (рН 8-9). На территории нашей

страны широко распространены почвы, относящиеся к трем первым группам, а также солонцовые и карбонатные почвы с повышенной щелочностью.

**Кислотностью** почвы называется ее способность подкислять воду или растворы гидrolитически нейтральных солей. Различают **актуальную** и **потенциальную кислотность** почвы. Под актуальной понимают кислотность почвенного раствора; потенциальная кислотность характерна для твердых фаз почвы. Поскольку между составом и свойствами почвенного раствора и твердых фаз существует тесная взаимосвязь, между актуальной и потенциальной кислотностью в почве сохраняется подвижное равновесие:



Концентрация ионов в почвенном растворе, определяющая актуальную кислотность, зависит от присутствия в нем свободных кислот и кислых солей и степени их диссоциации и выражается через значения рН, определяемые в почвенном растворе или водной вытяжке из почвы.

**Химико-мелиоративное улучшение ППК.** Теоретические основы химической мелиорации почв были заложены работами известного почвовед-химика К.К. Гедройца, который установил связь между ППК и процессом почвообразования и выявил первостепенную роль ППК в создании агрономически ценных почвенных структур. Анализируя химическое состояние почв зонально-генетического ряда, ученый выделил среди них почвы черноземного типа, для которых характерна насыщенность ППК кальцием и магнием при резком преобладании кальция. Именно таким характером поглощающего комплекса ученый объяснил благоприятные агрохимические характеристики черноземных почв. Отрицательные агрохимические свойства кислых почв он связывал с насыщенностью их ППК катионами водорода и алюминия, а плохие химические и водно-физические характеристики солонцовых почв — насыщением их ППК катионами натрия. Поэтому необходимо создать у солонцовых и кислых почв состав обменных катионов, близкий к составу черноземов.

Основным мероприятием, изменяющим неблагоприятный состав ППК мелиорируемой почвы, является внесение в нее кальцийсодержащих веществ или веществ, способных мобилизовать кальций, входящий в состав малорастворимых почвенных солей. Вытеснение катионов водорода, алюминия, натрия из ППК мелиорируемых почв и замена их катионами кальция приводит к улучшению агрохимических характеристик почвы, повышению эффективности внешних удобрений.

**Известкование кислых почв.** Известно, что большая часть пахотных земель территории Беларуси относится к так называемым кислым почвам, ППК которых насыщен катионами водорода и алюминия. Например, лесные формируются в условиях избыточного увлажнения, где существенное превышение атмосферных осадков над испаряемостью создает промывочный режим и способствует вытеснению катионами водорода из поглощающего комплекса почвы обменных катионов кальция и магния:



В результате формируются твердые почвы, бедные кальцием и отличающиеся неблагоприятными агрохимическими свойствами и низким плодородием. Для их улучшения необходимо изменить направление почвообразовательного процесса в сторону искусственного обогащения ППК катионами кальция.

При распахивании целины потери кальция из почвы возрастают за счет выноса его вместе с урожаями сельскохозяйственных культур. При среднем урожае зерновых почва теряет 20-30 кг  $\text{Ca}^{2+}$  с 1 га, с пропашными культурами - 60-70, с кормовыми культурами — до 200-400 кг/га ежегодно. Интенсификация сельского хозяйства, включающая массовое применение минеральных удобрений, которые в большинстве представляют собой гидролитически кислые соли, также способствует повышению кислотности почв.

Кислые почвы нуждаются в коренной химической мелиорации, прежде всего **известковании**, т. е. внесении мелиорантов, содержащих  $\text{CaCO}_3$ . Установление потребности почвы в известковании и определение необходимых доз известковых материалов основываются на предварительном изучении почвенной кислотности. На практике их доза колеблется от нескольких до десятков тонн мелиоранта на гектар.

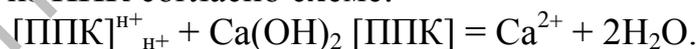
В качестве известковых мелиорантов используются различные карбонатные породы, а также промышленные отходы. Основное действующее вещество таких мелиорантов - карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$  - практически нерастворим в воде, однако под влиянием содержащегося в почве  $\text{CO}_2$  он постепенно переходит в раствор в виде  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ :



Гидролизуясь, гидрокарбонат кальция образует  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ :



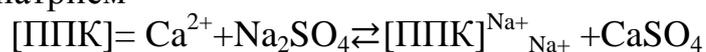
который нейтрализует кислотность почвенного раствора и вытесняет катионы водорода из ППК согласно схеме:



Таким образом, известкование не только изменяет актуальную кислотность (рН), но и улучшает другие агрохимические характеристики почвы: снижается ее гидролитическая кислотность, возрастают степень насыщенности основаниями и содержание поглощенного кальция. Повышение рН почвенного раствора до значений, близких к нейтральному (6,0-6,5), значительно повышает эффективность минеральных удобрений: мочевины, аммиачной селитры, хлорида и сульфата аммония. Одновременно кальций, внесенный с известью, способствует коагуляции почвенных коллоидов, улучшает микроструктуру почвы, повышает ее водопрочность; в ней возрастает водопроницаемость и улучшается аэрация.

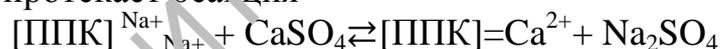
**Мелиорация солонцовых почв.** Солонцовыми называют почвы, содержащие большое количество обменного натрия (иногда магния) в ППК. Их образование вызвано рядом причин. Например, в зоне недостаточного увлажнения для орошения почв степных и сухопутных районов используются воды рек и водохранилищ, которые обычно содержат заметные

количества натриевых солей. Такие воды при поливе смещают химическое равновесие в системе ППК — почвенный раствор в сторону обогащения почвы обменным натрием



что приводит к осолонцеванию орошаемых почв, то есть к насыщению их ППК ионами натрия, и рН достигает 9-10. Низкое естественное плодородие солонцовых почв объясняется прежде всего их отрицательными водно-физическими и механическими характеристиками. Так, при насыщении натрием в почве уменьшается содержание агрономически ценных фракций с размерами частиц от 0,25 до 0,001 мм и, напротив, резко возрастает содержание коллоидов. Водопроницаемость солонцов низка, и большая часть влаги остается недоступной растениям. ППК солонцовой почвы легко распадается под воздействием воды с выделением кремниевой кислоты и оксидов железа и алюминия, что делает нецелесообразным проведение орошения. Наконец, для таких почв характерны невысокое содержание подвижных соединений фосфора, а также недостаток кальция в почвенном поглощающем комплексе. Все эти свойства солонцов делают их непригодными для использования в сельском хозяйстве без предварительной химической мелиорации.

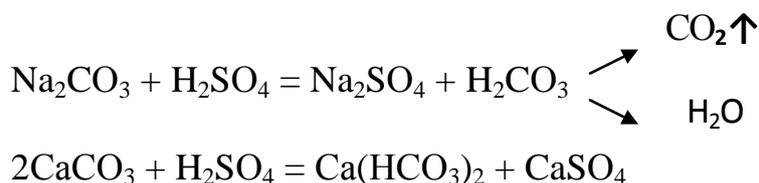
Радикальным и широко распространенным на практике методом химической мелиорации солонцовых почв является их **гипсование**, т. е. внесение в почву в качестве мелиорирующего средства гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . При этом в почве протекает реакция

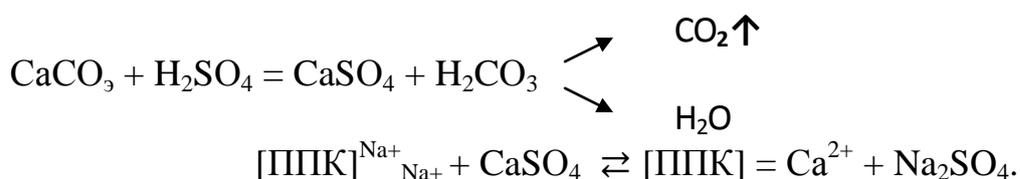


Удаление натрия из ППК и насыщение его кальцием способствует коагуляции почвенных коллоидов, улучшает структурно-механические и физико-химические свойства почв и одновременно нейтрализует ее щелочность, т. е. снижает рН.

Непременным условием успешной мелиорации является последующее удаление  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  из корнеобитаемых горизонтов почвы во избежание ее вторичного засоления. Это достигается лишь достаточным естественным увлажнением или проведением специальной промывки.

Кислование солонцов, т. е. обработка разбавленными растворами сильных минеральных кислот ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ ), приводит к их радикальному улучшению: происходит нейтрализация щелочности, разложение почвенных карбонатов с переходом их в более растворимые сульфаты и гидрокарбонаты. Образующийся  $\text{CaSO}_4$  вытесняет обменный натрий из ППК:





В результате этих процессов происходит коагуляция гидрофильных коллоидов, улучшаются фильтрационные свойства почвы, ее кальциевый и питательный режимы.

Наряду с серной кислотой для мелиорации почв солонцового засоления успешно применяется сульфат железа  $\text{FeSO}_4$ . Он является кислой солью, которая при взаимодействии с водой образует гидроксид железа (II) и серную кислоту. Последняя воздействует на солонцовые почвы по механизму, описанному выше. Эффект применения мелиоранта усиливается дополнительным коагулирующим воздействием гидроксида железа.

Одним из методов химической мелиорации почв является *силикатирование* — внесение в почву силикатов (в основном, кремниевой кислоты), — имеющее целью повышение количества отрицательно заряженных коллоидов почвы. Силикатирование способствует усилению поглощения катионов и ослаблению связывания фосфат-ионов. Это обстоятельство повышает усвояемость фосфора растениями.

**Защита почв от химического загрязнения.** Как известно, почва имеет значительную емкость поглощения по отношению к химическим загрязняющим веществам. В ней протекают процессы трансформации различных соединений, в том числе и экологически опасных. При этом возможно превращение их в малотоксичные, инертные или малодоступные для растений соединения. Однако, несмотря на протекторные свойства почвы, существуют пределы и уровни техногенного воздействия на почву, превышение которых приводит к необратимым последствиям.

Эффективный прием, снижающий подвижность тяжелых металлов и способствующий закреплению их в малоподвижной, недоступной растениям форме, — **известкование**. Этот прием носит зональный характер, и его успешно применяют в районах с избыточным увлажнением, особенно на почвах с повышенной концентрацией водорода, подвижного алюминия, железа, марганца.

Органическое вещество - прекрасный инактиватор тяжелых металлов в почве. Оно повышает буферность почвы, способствует снижению токсического действия тяжелых металлов, концентрации солей в почвенном растворе, уменьшению фитотоксичности многовалентных тяжелых металлов и препятствует поступлению их в растения. Поэтому наиболее простой способ улучшения песчаных и легкосуглинистых почв — **внесение высоких доз органических удобрений**.

При рекультивации легких почв, загрязненных тяжелыми металлами, в качестве эффективного приема иногда применяют **глинование** — внесение глин, содержащих алюмосиликаты типа монтмориллонита.

В последние годы более распространено использование природных сорбентов, таких как цеолиты (например, клиноптиллолит). Исследования показали, что наибольшую эффективность цеолиты проявляют на сильнозагрязненных почвах, значительно влияя на снижение подвижности тяжелых металлов, причем действие цеолитов усиливается при внесении навоза или различных нетрадиционных удобрений.

Возможен и другой путь снижения фитотоксичности тяжелых металлов - с помощью ионообменных смол, содержащих карбоновые и гидроксильные группы, которые вносят в загрязненную почву в виде гранул или порошка.

Существенного уменьшения фитотоксичности можно добиться таким эффективным приемом восстановления почв, как химическое осаждение. При химическом осаждении происходит образование труднорастворимых солей, например ортофосфорной или угольной кислот, с катионами тяжелых металлов. Этот прием наиболее эффективен при сильном техногенном загрязнении почв, так как для образования труднорастворимого осадка необходима высокая концентрация ионов металлов.

В качестве способа рекультивации загрязненных почв часто рекомендуют внесение фосфорных удобрений, что позволяет одновременно восполнить недостаток фосфора, помимо основной задачи, — снижения фитотоксичности тяжелых металлов.

Кроме физических и химических приемов по восстановлению загрязненных тяжелыми металлами почв, используют различную устойчивость растений к высокому содержанию тяжелых металлов. Такие растения встречаются как среди дикорастущих, так и среди культурных видов, например хлопчатник, свекла, некоторые бобовые и лекарственные растения.

Этот метод удаления токсичных металлов из верхнего слоя почвы (глубина до 30-50 см) при помощи специально подобранных растений называется **фитоочисткой**.

Тяжелые металлы, например никель, хром, поглощаются корнями, стеблями и листьями растений, которые затем собираются и подвергаются захоронению на полигонах.

Фитоочистка может применяться не только для удаления из почв металлов, но и пестицидов, растворителей, взрывчатых веществ, нефти и т. п.

Эффективным способом борьбы с **радиоактивным загрязнением** почв является закрепление радионуклидов органическим веществом с образованием **нерастворимых комплексов** (хелатов). В большинстве почв повышение рН, количества обменного калия и кальция способствует сорбции радионуклидов (например, стронция-137). Глинистые минералы хорошо фиксируют такие радионуклиды, как стронций, цезий.

В ряде случаев, например при очень высокой степени загрязнения относительно небольших количеств почвы или почвогрунта, целесообразно применять промывку. Лучше всего поддаются промывке песчаные почвы, хуже — илистые или глинистые.

Если загрязнение глубоко проникло в почву и его трудно ликвидировать или собрать, целесообразно в экологическом аспекте применить

способ, разработанный в Швеции. Он заключается в устройстве гидроизолирующего слоя поверх подземного загрязнения.

Устроен гидроизолирующий слой следующим образом. На загрязненную почву укладывается слой глины, который предназначен для предотвращения выделения вредных газов от загрязнителя. Глина может покрываться сверху слоем прочного синтетического материала, например полиэтилена (геомембрана), предназначенного для предотвращения проникновения воды. Поверх геомембраны может быть уложен дренажный слой из гравия и, при необходимости, дренажных труб. Сверху укладывается слой почвы и засеивается трава, которая своей корневой системой поглощает влагу.

При помощи гидроизолирующего слоя, способного выполнять свои функции многие годы, решаются следующие задачи:

- 1) предотвращение вымывания загрязнения дождями и во время таяния снегов, что предотвращает попадание вредных веществ в водозаборы, поверхностные и грунтовые воды;
- 2) исключение раздувания вредных веществ, находящихся в сухом состоянии;
- 3) предотвращение контактов людей и животных с токсикантами.

Для очищения почв от остаточных количеств пестицидов используют целый комплекс мер: внесение активированного угля и специальных белковых либо синтетических органических препаратов, поглощающих пестициды либо способствующих их быстрому разложению, а также внесение специфических видов микроорганизмов в почвы. Для очищения почв, например от атразина используют посевы кукурузы, сорго, сахарного тростника на фоне высоких доз органических и минеральных удобрений.

В последнее время широко используется разведение и выпуск в агросистемы насекомых-хищников: божьей коровки, жужелицы, муравьев и др. (**биологическая защита**), внедрение в природные популяции видов или особей, которые не способны давать потомство (**генетическая защита**) и т.д.

В ряде стран Европы и в США организована система биологического земледелия, при которой полностью исключено применение пестицидов и минеральных удобрений с получением «экологически чистых» продуктов. Только в США в 1997 г. таких ферм насчитывалось более 50 тыс. и число их растет.

#### ***Борьба с аварийными разливами нефти и нефтепродуктов.***

Серьезной экологической проблемой является загрязнение почв нефтью и нефтепродуктами, она особенно остра в таких нефтедобывающих регионах Беларуси. Часто причинами загрязнения становятся аварии на магистральных и внутрипромысловых нефтепроводах. Вследствие этого, например, в отдельных районах концентрации нефтяных углеводородов в почвах превышают фоновые в сотни раз.

Значения предельно допустимых концентраций (ПДК) нефтепродуктов для почв пока не определены. Исключение составляет бензин, ПДК которого составляет 0,1 мг/кг почвы.

В табл. 8.3. приведена классификация нефтезагрязнений почв сельскохозяйственного назначения в зависимости от содержания в них нефтепродукта.

В соответствии с нормативными документами почвы, загрязненные нефтепродуктами, относятся к 3-му классу токсичности.

Для водных объектов установлены следующие значения ПДК нефтепродуктов:

- для водоемов питьевого значения - 0,1 мг/дм<sup>3</sup>;
- для водоемов рыбохозяйственного значения - 0,05 мг/ дм<sup>3</sup>.

Таблица 8.3.

Классификация нефтезагрязнений почв сельскохозяйственного назначения в зависимости от содержания в них нефтепродукта

Уровень	Содержание нефтепродукта в почве, мг/кг почвы	Классификация нефтезагрязнений
1	Менее 1000	Допустимый
2	От 1000 до 2000	Низкий
3	От 2000 до 3000	Средний
4	От 3000 до 5000	Высокий
5	Свыше 5000	Очень высокий

**Локализация нефтезагрязнений почв.** Вполне естественно, что в первую очередь после аварийного разлива нефтепродуктов следует ограничить их распространение по поверхности земли, чтобы не допустить попадания в водоемы, а также испарения нефтепродуктов, следствием которого может стать его воспламенение; фильтрации его в более глубокие почвенные и грунтовые слои земли; растекания на поверхности почвы.

**Механические методы** (обваловка загрязненного участка, обнесение его какими-либо ограждающими средствами, например бревнами, хворостом, трубами и т.п.) способствуют ограничению растекания нефтепродуктов в направлении пониженных участков ландшафта, препятствуя тем самым увеличению площади загрязнения.

Использование **физико-химических методов** требует наличия специальных химических веществ и позволяет:

- экранировать поверхность испарения разлитого нефтепродукта, что предотвращает его испарение и загорание;
- превратить разлитый нефтепродукт в гелеобразное или твердое состояние, исключаящее его текучесть;
- обрабатывать почву с целью защиты от нефтепродукта.

Для указанных целей разработаны рецептуры гелеобразных пен на основе поливинилового спирта с добавками хлорида железа и ускорителя гелеобразования — оксида цинка ZnO. Широко применяются российские пенообразователи «Форэтол» и «Универсальный», а также фторсодержащие пенообразователи типа «Легкая вода» (США). Они эффективно препятствуют испарению разлитого нефтепродукта.

Загущение нефтепродукта может быть достигнуто путем применения связывающих материалов, как правило, сорбентов. Разработан состав, который позволяет отвердить разлитые нефтепродукты. В его составе содержится 50% и более активированного угля, 10% оксида магния или органофильной глины, 50% гидрофобного полимера с молекулярной массой 5000-30000 (например, полиакриловой кислоты), 10% оксида алюминия или кремния, 5% силиката магния.

Осуществить защиту почвы от проникновения в нее нефтепродукта можно путем ее обработки водным раствором нетоксичного полимера — На-соли полиакриловой кислоты.

**Сбор разлившихся нефтепродуктов.** Соответствующие методы подразделяются на механические и физико-химические.

**Механические методы** предусматривают использование специального оборудования, которое позволяет собрать нефтепродукт с почвы в исходном (жидком) состоянии. В качестве такого оборудования выступают, например, установки вакуумного типа, работающие по принципу пылесоса. В частности, вакуумные установки «ВАУ-1» и «ВАУ-2» имеют производительность 2 и 4 м<sup>3</sup> в час соответственно.

Указанные установки позволяют обеспечить сбор нефтепродуктов в срочном порядке при любых масштабах его разлива, причем в труднодоступных местах. Собранный нефтепродукт после регенерации вновь может быть использован по прямому назначению.

Наиболее распространенным и доступными среди **физико-химических методов** является сорбционный, предусматривающий использование сорбирующих материалов — опилок, торфа, песка и др. Нефтепродукт при этом собирается в связанном сорбентом виде. Указанные сорбенты эффективны при относительно небольших разливах нефти и нефтепродуктов.

При значительных аварийных разливах используют обычную землеройную технику, с помощью которой создают нефтепочвенную смесь, которую в дальнейшем перевозят автотранспортом на полигоны временного хранения.

**Снижение концентрации разлитого нефтепродукта в почве до приемлемого уровня.** Методы снижения остаточной концентрации нефтепродукта в почве до экологически приемлемого (в частности, исключающего его попадание в грунтовые воды) уровня подразделяют на физико-химические и биологические.

**Физико-химические методы.** К таковым относятся термические, химический, экстракционный методы, а также дренирование почвы.

Термические методы основаны на сжигании загрязненной почвы, либо предварительно удаленной с места разлива нефтепродукта, либо на месте.

Одной из применяемых схем является сжигание почвы во вращающейся печи с камерой дожигания, системой утилизации тепла и многоступенчатой очисткой топочных газов. Первоначально в мельнице с помощью проходящих через нее горючих газов проводится сушка и одновременное измельчение загрязненной почвы с получением фракции 0-10 мм. При этом большая часть токсичных веществ переходит в газовую фазу.

После сушки почва совместно с газовой фазой обрабатывается при 1000-1200°C в оснащённом газовой горелкой устройстве. С помощью циклонного сепарирования материал отделяется от газовой фазы, которая возвращается в цикл для полного разложения ядовитых веществ. После обеззараживания почва возвращается на прежнее место.

Термическую обработку почвы можно проводить во вращающейся печи. Среднезагрязнённая почва обрабатывается при температуре 700-800°C, а сильно загрязнённая — в печи «кипящего» слоя, работающей на углеводородном топливе, при 900°C. Такие установки успешно используют в странах Западной Европы, США и Канады.

В Голландии используют установку, включающую вращающуюся печь, а в Канаде очищают загрязнённый гравий путем обжига его в печи с «кипящим» слоем материала. Это позволяет полностью удалить нефтепродукт с гравия при экологически приемлемом химическом составе отходящих газов.

Метод сжигания обеспечивает высокую интенсивность процесса, эффективное выгорание нефтепродуктов при любых уровнях загрязнения ими почвы. В то же время следует отметить и серьёзные его недостатки:

- метод требует развертывания специального оборудования, больших энергозатрат;
- большие капитальные затраты на строительство печи и многоступенчатой системы очистки топочных газов, т. к. сжигание сопровождается интенсивным образованием микрочастиц;
- большое количество захораниваемых шламов, связанных с необратимостью изменений почвы при сжигании;
- значительно увеличиваются сроки естественного восстановления почвы;
- происходит образование канцерогенных веществ при высокотемпературных процессах.

Химический метод основан на превращении токсичных углеводородов нефтепродуктов в относительно нетоксичные соединения либо на отверждении токсичных веществ в виде твердого вещества или геля.

В России, например, разработан препарат «Эконафт», который эффективно применяется для химического обезвреживания и нейтрализации токсичных отходов. Он включает в свой состав негашеную известь CaO, которая способна при гашении увеличивать удельную поверхность в 15-30 раз. Образуется вязущая масса, активно поглощающая углеводороды нефти. В результате образуется сухое, стойкое при хранении порошкообразное вещество.

В США применяют пероксид водорода H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> для обработки загрязнённых нефтепродуктами почв, грунтов и гравия.

**Экстракционный метод**, обладающий высокой эффективностью, основан на извлечении нефтяных углеводородов из почвы с помощью специально подобранных избирательных экстрагентов (растворителей).

В качестве экстрагентов применяются легкие фракции нефтепродуктов, горячая вода, перегретый водяной пар, моющие средства и т. д.

Основными этапами экстракционного метода являются: гомогенизация и измельчение загрязненной почвы; смешивание почвы с экстрагентом при определенных условиях; сушка суспензии, выводимой из экстракционной системы.

Процессы осуществляются на специальных установках (очистных комплексах), собранных, как правило, по модульному принципу.

Для очистки загрязненных почв от нефтепродуктов методом экстракции разработаны экологически чистые и относительно дешевые моющие средства (МС). Примером МС является чистый полимер - модифицированный «Унифлок». Применение в составе МС водорастворимого нетоксичного полимера способствует восстановлению азотного равновесия в почве.

Дренирование почвы заключается в ее промывке на месте с помощью дренажных систем; по сути это разновидность экстракционного метода.

**Биологические методы.** Относительно широко распространены в природе микроорганизмы, способные разлагать углеводородные соединения нефти с получением экологически нейтральных веществ:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , и др. Это свойство указанных микроорганизмов и положено в основу биологических методов борьбы с нефтяным загрязнением почв.

Имеется два направления в решении указанной проблемы:

1) повышение активности естественной микрофлоры почв путем создания для аборигенных микроорганизмов оптимальных условий жизнедеятельности;

2) **интродукция** (внедрение) в загрязненную почву специально подобранных активных разрушителей нефтепродуктов, так называемых **деструкторов**.

Первое направление реализуется следующими агротехническими приемами:

- распашкой загрязненных территорий, чем создаются оптимальный газовоздушный и тепловой режим в почве, увеличение численности микроорганизмов-деструкторов и их активности, повышение энергии биохимических процессов;
- аэробной биокоррекцией загрязненных почв, что достигается нагнетанием кислорода на требуемую глубину (в этом случае можно отказаться от распашки);
- обеспечением загрязненных почв биогенными элементами — азотом, фосфором, калием. Установлено, что особенно увеличивается скорость биохимического окисления углеводородов нефти при внесении нитратов и фосфатов;
- повышением температуры загрязненной почвы до 20-40°C, при этих условиях резко ускоряется разложение нефтепродуктов. Поэтому рекомендуется покрывать загрязненный участок темной полиэтиленовой пленкой;
- поддержанием почвы во влажном состоянии, что усиливает активность микроорганизмов-деструкторов;

- поддержанием оптимальной (близкой к нейтральной) кислотности почвенного раствора. Поэтому для создания оптимального рН кислые почвы известкуют мелом  $\text{CaCO}_3$ , а щелочные — обрабатывают слабыми растворами серной кислоты (0,5-1,0%) или гипсом  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Высокоэффективным приемом обезвреживания почв от нефтепродуктов является посев в нефтезагрязненную почву определенных растений, например люцерны и других трав. Своей развитой корневой системой они способствуют улучшению газовой воздушной среды почвы, обогащают ее азотом и биологически активными соединениями. Этот метод разложения вредных веществ в почве называется *фитодетоксикацией*.

В настоящее время в экономически развитых странах, где проблема нефтезагрязнений стоит остро, большое внимание уделяется интродукции как наиболее эффективному методу в сочетании с относительно невысокой стоимостью и экономичностью.

За последние годы ученым удалось создать фонд экологически полезных микроорганизмов, предназначенных для производства биопрепаратов с последующим их использованием в целях очистки почв от нефтезагрязнений. Все это позволило организовать целую отрасль *экологической биотехнологии*, основанной на выделении и селекции высокоактивных нефтеокисляющих микроорганизмов, изучении их свойств, разработке технологий производства и последующем применении биопрепаратов для борьбы с нефтяным загрязнением почв, водоемов, грунтов и т. д. Более того, отобраны и скринингованы в биопрепараты наиболее активные штаммы микроорганизмов — «специалисты» в области деструкции нефти, мазута, дизельного топлива.

Во избежание антогонизма между местным микробиоценозом почвы и внесенными «чужаками» современные биопрепараты готовят на основе выделенных из загрязненной почвы аборигенных микроорганизмов и культивированных для дальнейшего применения при очистке именно данного типа почв.

В результате выполненных обширных исследований разработано большое число препаратов — биодеструкторов нефтепродуктов: «Бациспектин», «Деворойл», «Экойл», «Путидойл», «Нафтокс», «Центрин» и др.

Специалистами шведского агентства оборонных исследований найден способ интенсификации естественных процессов биологической деструкции нефтяных загрязнений путем внесения в почву конского навоза с небольшим количеством сахарного песка. В США разработан стимулятор деятельности местного биоценоза (биопрепарат «UNI-REM»), который облегчает доступность углеводородных молекул нефти для большого числа природных микроорганизмов и расширяет тем самым номенклатуру деструкторов этого загрязнения.

При очистке почвы от нефтепродуктов биопрепараты применяют в комплексе с выше указанными агротехническими мероприятиями, облегчающими условия «работы» микроорганизмов.

## Глава 9. Порядок обращения с отходами

### 9.1. Виды отходов и объемы их образования

В структуре отходов по происхождению выделяются отходы потребления, производства и коммунальные отходы (Закон «Об отходах» N 271-3 от 20 июля 2007 г.).

**Отходы потребления** – это отходы, образующиеся в процессе жизнедеятельности человека, не связанной с осуществлением экономической деятельности, отходы, образующиеся в гаражных кооперативах, садоводческих товариществах и иных потребительских кооперативах, а также уличный и дворовый смет, образующийся на территориях общего пользования населенных пунктов.

**Отходы производства** – это отходы, образующиеся в процессе осуществления юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями экономической деятельности (производства продукции, энергии, выполнения работ, оказания услуг), побочные и сопутствующие продукты добычи и обогащения полезных ископаемых.

**Коммунальные отходы** – это отходы потребления и отходы производства, включенные в перечень отходов, утверждаемый Министерством жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, относящийся к коммунальным отходам, удаление которых организуют местные исполнительные и распорядительные органы.

Кроме того, выделяют ряд классификаций отходов по агрегатному состоянию, степени опасности и возможности использования (рис. 9.1).

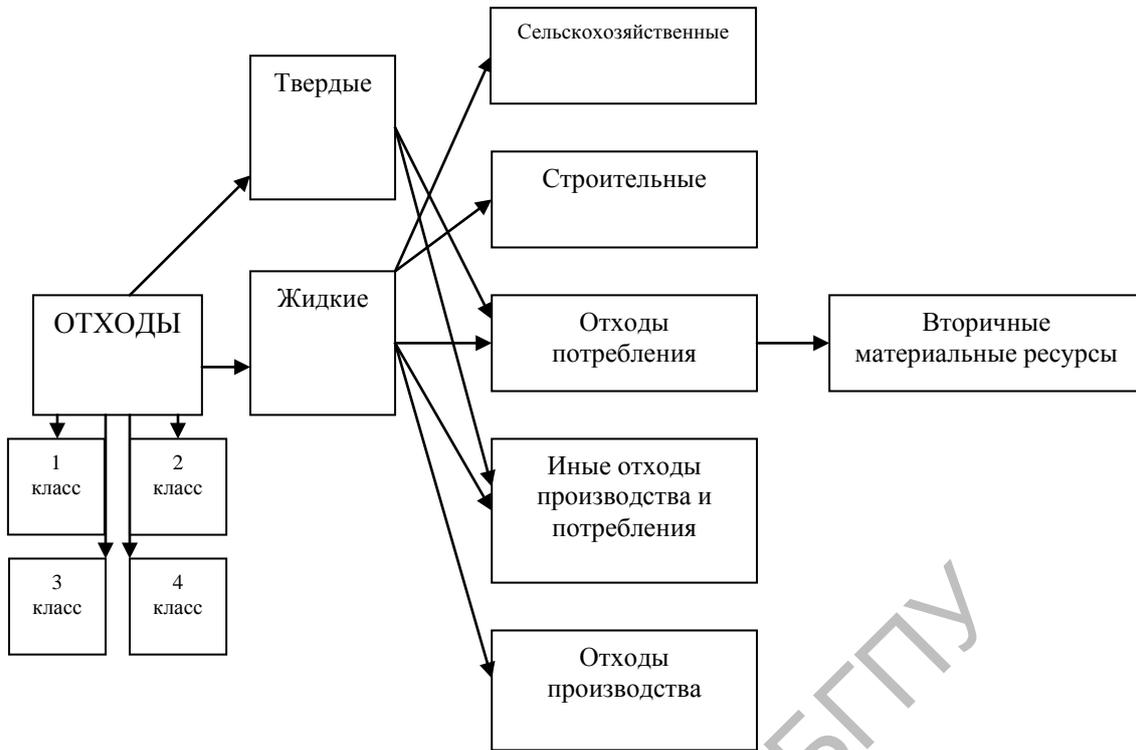


Рис.9.1. Классификация отходов

По агрегатному состоянию выделяют твердые и жидкие отходы.

**Твердые** - это твердый компонент отходов.

**Жидкие** - это жидкая фракция отходов.

**Опасные отходы** - содержат в своем составе вещества, обладающие каким-либо свойством или их совокупностью (токсичность, инфекционность, взрывоопасность, пожароопасность, высокая реакционная способность), и присутствующие в таком количестве и виде, при котором они самостоятельно и (или) при вступлении в контакт с другими веществами, могут представлять опасность причинения вреда окружающей среде, здоровью человека и имуществу лиц. Опасные отходы по степени их вредного воздействия на окружающую среду, здоровье человека и его имущество подразделяются на четыре класса опасности (таблица 9.1).

Таблица 9.1.

Критерии отнесения отходов к классу опасности для окружающей среды (ОС)

№ п/п	Степень вредного воздействия опасных отходов на ОС	Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для ОС	Класс опасности отхода для ОС
1.	Очень высокая	Экологическая система необратимо нарушена. Период восстановления отсутствует	I класс Чрезвычайно опасные
2.	Высокая	Экологическая система сильно нарушена. Период восстановления не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия	II класс Высокоопасные

3.	Средняя	Экологическая система нарушена. Период восстановления не менее 10 лет после снижения вредного воздействия от существующего источника	III класс Умеренно опасные
4.	Низкая	Экологическая система нарушена. Период самовосстановления не менее 3-х лет	IV класс Малоопасные

В 2008 году на территории Беларуси образовалось около 37,96 млн. т. отходов производства. По отношению к предыдущему году их объем увеличился на 2,94 млн. т. или на 11,9%.

Всего в стране образуется свыше 1,5 тыс. видов отходов с широким спектром морфологических и химических свойств. При этом структуре образования отходов производства доминируют отходы неорганического минерального происхождения и отходы продуктов их переработки (5359 тыс.т), отходы растительного и животного происхождения (3192 тыс.т), отходы промышленности, подобные твердым бытовым отходам (1448 тыс.т), отходы химических производств (341 тыс.т) и медицинские отходы (10 тыс.т).

Образование отходов производства на территории Беларуси неравномерно: 25,2% образуется на предприятиях Могилевской области, 18,2% - Гомельской, 14,3% - Брестской, 13,0% - Минской, 11,3% - Гродненской и 13,4% - в г.Минске.

В 2008 году в Беларуси сформировалось 3141 тыс.т. коммунальных отходов. В последнее десятилетие в Беларуси наблюдается постоянный рост коммунальных отходов. Показатель удельного образования твердых коммунальных отходов (ТКО) за указанный период увеличился с 0,485 кг/чел. в день до с 0,877 кг/чел. в день, т. е. почти в 2 раза и приблизился к величине, характерной для стран Европейского союза (ЕС) – 0,85 – 1,7 кг/чел. в день. При этом составе коммунальных отходов резко возросла доля полимерных материалов и отходов от упаковок, включая отходы стекла (Состояние природной среды Беларуси, 2008г.).

В 2008 году объем образования отходов 1-4 класса опасности на предприятиях Беларуси составил 2860 тыс.т. Из них около 89% приходилось на отходы 4 класса опасности.

Количество отходов 1-3 класса опасности, находящихся на хранении на предприятиях Беларуси, составило к концу 2007 года 3188, 2 тыс.т. Из них на отходы 1 класса приходится 0,06%, а отходы 2 класса опасности составляют 0,3% от хранящихся на территории предприятий опасных отходов. Среди отходов 3 класса опасности, хранящихся на предприятиях, преобладают: лигнин гидролизный (2779,4 тыс.т), шлам цинковый (27,6 тыс.т), шламы обработки сточных вод (26,0), шламы минеральных масел, остатки, загрязненные нефтепродуктами (20,0), отработанные катализаторы (6,0) и шламы водоподготовки (5,8 тыс.т). В целом суммарный объем вышеперечисленных отходов, хранящихся на предприятиях на 2008 года, составил 89,9% для отходов 3 класса опасности. Отходы 1-3 классов опасности хранятся на предприятиях в специально оборудованных

помещениях, на складах и спецплощадках, реже на объектах размещения отходов за пределами предприятий (Состояние природной среды Беларуси, 2008г.).

## 9.2. Обращение с отходами

**Обращение с отходами** – это деятельность, связанная с образованием отходов, их сбором и разделением по видам, удалением, хранением, захоронением, перевозкой, обезвреживанием и (или) использованием.

В Беларуси обращение с отходами регламентируется Законом Республики Беларусь «Об отходах» N 271-З от 20 июля 2007 г. и другими нормативно-правовыми (НПА) и нормативно-техническими актами (НТПА).

В соответствии с нормативно-правовой базой, регулирующей обращение с отходами, выделяют **основные принципы** политики государства в этой области:

- обязательность изучения опасных свойств отходов и установления степени опасности отходов и класса их опасности;
- нормирование образования отходов производства, а также установление лимитов их хранения и захоронения;
- использование новейших научно-технических достижений при обращении с отходами;
- приоритетность использования отходов по отношению к их обезвреживанию или захоронению при условии соблюдения требований законодательства об охране окружающей среды и с учетом экономической эффективности;
- приоритетность обезвреживания отходов по отношению к их захоронению;
- экономическое стимулирование в области обращения с отходами;
- платность размещения отходов производства;
- ответственность за нарушение природоохранных требований при обращении с отходами;
- возмещение вреда, причиненного при обращении с отходами окружающей среде, здоровью граждан, имуществу;
- обеспечение юридическим и физическим лицам, в том числе индивидуальным предпринимателям, доступа к информации в области обращения с отходами.

В соответствии с законодательством **производители отходов** (юридическое или физическое лицо, в том числе индивидуальный предприниматель, экономическая деятельность, жизнедеятельность которого приводит к образованию отходов) обязаны:

- обеспечивать разработку и утверждение нормативов образования отходов производства, а также их соблюдение;
- обеспечивать установление степени опасности отходов производства и класса опасности опасных отходов производства, если степень опасности этих отходов и класс их опасности не указаны в классификаторе отходов, образующихся в Республике Беларусь.

**Государственное регулирование и управление** в области обращения с отходами осуществляют: Президент Республики Беларусь, Совет Министров Республики Беларусь, а также Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерство жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь, Министерство здравоохранения Республики Беларусь, Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, местные Советы депутатов, местные исполнительные и распорядительные органы, иные государственные органы в пределах их компетенции, определенной законодательством.

Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь является головным министерством в области обращения с отходами в пределах своей компетенции:

- осуществляет меры по реализации единой государственной политики, обеспечивает разработку и выполнение государственных программ в области обращения с отходами, планов и мероприятий;
- координирует деятельность иных республиканских органов государственного управления в области обращения с отходами за исключением деятельности по сбору вторичного сырья и его использованию;
- утверждает по согласованию с Министерством здравоохранения Республики Беларусь и Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь;
- определяет совместно с Министерством здравоохранения Республики Беларусь и Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь порядок установления степени опасности отходов производства и класса опасности опасных отходов производства, необходимых для установления степени опасности отходов производства и класса их опасности;
- устанавливает по согласованию с Министерством здравоохранения Республики Беларусь, Министерством жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь и Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь порядок разработки и утверждения юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями инструкций по обращению с отходами производства;
- устанавливает по согласованию с Министерством здравоохранения Республики Беларусь порядок разработки и утверждения схем обращения с отходами, образующимися в гаражных кооперативах, садоводческих товариществах и иных потребительских кооперативах, а также на землях природоохранного, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения;
- устанавливает по согласованию с Министерством жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь порядок организации сбора, обезвреживания и (или) использования отходов, образующихся после утраты потребительских свойств товаров, включенных в утверждаемый Советом

Министров Республики Беларусь перечень производимых и импортируемых товаров, производители и импортеры которых обязаны осуществлять сбор отходов, образующихся после утраты потребительских свойств этих товаров;

- утверждает форму сопроводительного паспорта перевозки отходов производства и устанавливает порядок его оформления;
- выдает и аннулирует разрешения на ввоз и (или) вывоз отходов, ограниченных к перемещению через таможенную границу Республики Беларусь по основаниям неэкономического характера, а также приостанавливает их действие;
- осуществляет ведение реестра объектов по использованию отходов либо определяет организацию, уполномоченную на ведение этого реестра;
- осуществляет ведение реестра объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов либо определяет организацию, уполномоченную на ведение этого реестра;
- утверждает совместно с Министерством жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь технические кодексы установившейся практики эксплуатации объектов захоронения и объектов обезвреживания коммунальных отходов;
- устанавливает порядок учета и инвентаризации отходов юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями;
- осуществляет государственный контроль в области обращения с отходами;
- принимает участие в формировании экологической культуры и организации пропаганды знаний в области обращения с отходами;
- осуществляет международное сотрудничество.

Система обращения с отходами включает в себя ряд стадий, характеристика и специфика организации каждой из которых приводится ниже.

**Сбор отходов и их разделение по видам** – это деятельность производителей по разделению отходов по видам с последующей их концентрацией в местах временного хранения отходов с целью их дальнейшего удаления.

Смешивание отходов разных видов в соответствии с ТНПА допускается при захоронении и (или) обезвреживании отходов.

В Беларуси существующая схема **сбора** ТКО включает следующие операции:

1) в зоне многоэтажной застройки сбор производится в металлические контейнеры, устанавливаемые на специальной контейнерной площадке или у выхода мусоропроводной шахты. Основные недостатки контейнеров состоят в значительной их массе, малой коррозионной стойкости и относительно высокой стоимости; не обеспечиваются надлежащие меры санитарии;

2) с целью вывоза ТКО применяют спецтранспорт.

**Удаление отходов** - это деятельность по временному хранению отходов и перевозке их на объектах хранения, захоронения, обезвреживания

и (или) на объектах по использованию отходов. Удаление ТО осуществляется с использованием:

- различных механизмов загрузки-выгрузки отходов, характером процесса уплотнения отходов;
- не идентичной вместимости кузова: мини-мусоровозы (7-10 м<sup>3</sup>), средние (16-45 м<sup>3</sup>) и большегрузные (более 45 м<sup>3</sup>).

Вывоз ТО в целом по стране осуществляется эффективно, имеются мусоровозы различной вместимости, четко выполняется график транспортировки ТО. Однако, преимущественно вывоз мусора осуществляется на дальние расстояния. Так, средний по стране радиус транспортировки ТО составляет 15 км, а в крупных городах (с населением более 500 тыс.) расстояние возрастает до 20-45 км и более.

**Хранение отходов** – это содержание отходов в местах временного их хранения, на объектах их хранения до перевозки на объекты захоронения, обезвреживания отходов и (или) на объекты по их использованию.

**Захоронение отходов** – это изоляция отходов на объектах захоронения отходов в целях предотвращения их вредного воздействия, продуктов их взаимодействия или разложения на окружающую среду, здоровье граждан, имущество, находящееся в собственности государства, юридических и физических лиц, не предусматривающая возможности их дальнейшего использования.

Хранение и захоронение отходов допускаются только в санкционированных местах хранения и захоронения отходов, которые определяются на основе разрешений Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь или его территориальных органов, а при временном хранении отходов производства для накопления их количества в объеме необходимом для перевозки, на основании инструкций с указанием периодичности вывоза отходов производства и (или) их допустимого количества.

**Санкционированные места захоронения отходов** – это объекты захоронения отходов, определенные собственнику отходов для их захоронения в соответствии с Законом «Об обращении с отходами». Захоронение вторичных материальных ресурсов запрещается.

**Объекты захоронения отходов** - полигоны и иные сооружения, предназначенные для захоронения отходов.

**Санкционированные места хранения отходов** – это объекты хранения отходов или места временного хранения отходов, определенные собственнику отходов для их хранения в соответствии с Законом «Об обращении с отходами».

**Объекты хранения отходов** - сооружения (комплекс сооружений), предназначенные для хранения отходов.

Нарушение правил хранения и захоронения радиоактивных, бактериологических, химических веществ и отходов может выражаться в загрязнении окружающей среды вне объектов их размещения.

В связи с этим *хранение отходов производства* допускается только в санкционированных местах хранения отходов производства.

*Санкционированными местами хранения отходов* производства являются:

- объекты хранения отходов, определенные в разрешении на хранение отходов производства;

- места временного хранения отходов производства, определенные в инструкции по обращению с отходами производства для временного хранения отходов производства в целях накопления количества отходов, необходимого для перевозки, или в целях обезвреживания на объектах обезвреживания отходов, использования на объектах по использованию отходов.

Запрещается хранение отходов производства вне санкционированных мест хранения отходов производства, а также:

- не на объектах хранения отходов производства или не в местах временного хранения отходов производства;
- без разрешения на хранение отходов производства или в период приостановления действия такого разрешения;
- с нарушением порядка хранения отходов производства, установленного Законом Республики Беларусь "Об обращении с отходами" и иными актами законодательства об обращении с отходами.

Выдача *разрешений* производится по месту нахождения *объектов хранения и захоронения отходов*:

Минским городским комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды;

• областными комитетами природных ресурсов и охраны окружающей среды - заявителям, осуществляющим хранение отходов производства, захоронение отходов производства, в случае, если среди отходов производства имеются отходы 1 - 3-го класса опасности или суммарное количество отходов производства составляет свыше 100 тонн в год;

• районными или городскими инспекциями природных ресурсов и охраны окружающей среды - заявителям, осуществляющим хранение отходов производства, захоронение отходов производства, за исключением случаев, предусмотренным для областных комитетов.

• Выдача, внесение изменений и (или) дополнений, приостановление действия, аннулирование разрешений регистрируются органом выдачи разрешений:

• для разрешений на хранение отходов производства - в журнале учета разрешений на хранение отходов производства по форме согласно приложению 1;

• для разрешений на захоронение отходов производства - в журнале учета разрешений на захоронение отходов производства;

Срок хранения журналов учета разрешений на хранение отходов производства, журналов учета разрешений на захоронение отходов производства - двадцать лет.

Установление лимитов на размещение отходов производства собственнику отходов без наличия разрешения не допускается.

**Перевозка отходов** – это перемещение отходов транспортным средством, выполняемое на договорной основе или на других законных основаниях и обеспечивающая предотвращение вредного воздействия перевозимых отходов на окружающую среду, здоровье граждан, имущество.

Перевозка отходов производства (по утвержденной Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь форме) производится при наличии сопроводительного паспорта перевозки отходов производства, в котором содержатся сведения о:

- производителе перевозимых отходов производства;
- собственнике перевозимых отходов производства в случае, если он не является их производителем;
- получателе перевозимых отходов производства;
- юридическом лице, перевозящем отходы производства;
- транспортном средстве, на котором перевозятся отходы производства;
- упаковке перевозимых отходов производства.

**Обезвреживание отходов** – это деятельность, направленная на обработку, сжигание или уничтожение отходов иным способом, в том числе приводящая к уменьшению объема отходов и (или) ликвидации их опасных свойств (за исключением деятельности по захоронению отходов), не связанная с их использованием. Обезвреживание отходов с применением технологий, приводящих к образованию стойких органических загрязнителей, а также уничтожение при обезвреживании вторичных материальных ресурсов запрещаются.

Обезвреживание отходов осуществляется только на объектах обезвреживания отходов, эксплуатация которых производится в соответствии с требованиями Закона «Об отходах», НПА и НТПА.

**Объекты обезвреживания отходов** - сооружения (комплекс сооружений) и оборудование, предназначенные для обезвреживания отходов.

Размещение, проектирование и строительство **объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов** производятся в соответствии с требованиями законодательства об охране и использовании земель, о недрах, об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, об охране окружающей среды, о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения и осуществляются в соответствии с утвержденными в установленном порядке территориальными программами в области обращения с отходами.

При **проектировании** объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов в проектной документации должны предусматриваться проектные решения по:

- созданию сооружений (устройств), учитывающих отходы;
- созданию сооружений, ведущих локальный мониторинг окружающей среды в период эксплуатации этих объектов, а для объектов захоронения отходов - и после их вывода из эксплуатации;
- выводу из эксплуатации, демонтажу, сносу объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов, а также рекультивации земельных участков, на которых были размещены объекты хранения и обезвреживания отходов, с соблюдением требований законодательства об обращении с отходами, об охране окружающей среды.

Кроме того запрещается **размещение объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов** на землях природоохранного, оздоровительного, рекреационного и историко-культурного назначения, водного и лесного фондов, а **объектов хранения и захоронения отходов** - и на землях населенных пунктов.

Объекты хранения, захоронения и обезвреживания отходов, введенные **в эксплуатацию**, регистрируются в **реестре объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов** в порядке, определяемом Советом Министров Республики Беларусь.

**Реестр объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов** - систематизированная информация о географии размещения объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов, существующих и эксплуатирующихся на территории Беларуси. Ведение реестра осуществляется Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Эксплуатация не включенных в реестр объектов хранения, захоронения и обезвреживания отходов не допускается. Отходы, поступающие на эти объекты, подлежат учету в порядке, устанавливаемом законодательством об обращении с отходами.

Эксплуатация объектов захоронения и обезвреживания коммунальных отходов осуществляется в соответствии с **техническими кодексами установившейся практики по захоронению и обезвреживанию коммунальных отходов**, утверждаемых Министерством жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь совместно с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

• Технические кодексы установившейся практики по эксплуатации объектов захоронения и объектов обезвреживания коммунальных отходов должны содержать:

- перечень отходов, запрещаемых или ограничиваемых для захоронения и обезвреживания;
- условия эксплуатации сооружений и их перечень, предотвращающих загрязнение окружающей среды коммунальными отходами, продуктами их взаимодействия и (или) разложения;
- условия приема коммунальных отходов к захоронению и обезвреживанию;

- описание технологий захоронения и обезвреживания коммунальных отходов.

Разработка, согласование и утверждение технических кодексов установившейся практики осуществляются в соответствии с *законодательством о техническом нормировании и стандартизации*.

С 1 января 2015 года эксплуатация объектов захоронения коммунальных отходов без действующих сооружений, предотвращающих загрязнение окружающей среды отходами, продуктами их взаимодействия и (или) разложения, запрещается.

Вывод из эксплуатации, демонтаж, снос объектов хранения, обезвреживания и захоронения отходов производятся согласно проектной документации, в которой предусматриваться комплекс мероприятий по предотвращению вредного воздействия на окружающую среду продуктов взаимодействия и разложения отходов, разработанную на основе законодательства об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности, об охране окружающей среды.

В настоящее время часть отходов используется в качестве вторичного сырья. **Использование отходов** – это применение отходов для производства продукции, энергии, выполнения работ, оказания услуг.

Использование отходов в качестве вторичного сырья осуществляется на объектах по их использованию и регламентируется техническими нормативными правовыми актами.

**Объекты по использованию отходов** - сооружения (комплекс сооружений) и оборудование, предназначенные для использования отходов.

Действующие объекты по использованию отходов подлежат регистрации в реестре объектов по использованию отходов в порядке, определяемом Советом Министров Республики Беларусь. Ведение реестра объектов по использованию отходов осуществляется Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды.

### **9.3 Нормирование и нормативы образования, хранения и захоронения отходов.**

Одним из основных принципов политики государства в области обращения с отходами является нормирование образования отходов производства, а также установление лимитов их хранения и захоронения.

**Нормирование** осуществляется в целях государственного регулирования воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду, гарантирующего сохранение благоприятной окружающей среды и обеспечение экологической безопасности.

Правовую основу нормирования в области охраны окружающей среды составляют: Закон «Об охране окружающей среды» (1992), «О техническом нормировании и стандартизации» (2004), «Об оценке соответствия требованиям технических правовых актов в области нормирования и стандартизации» (2004).

Объектами нормирования являются:

- нормативы качества окружающей среды,

- нормативов допустимого воздействия на окружающую среду,
- лимиты на природопользование,
- иные нормативы в области ООС.

Функции нормирования возложены на Министерство здравоохранения Республики Беларусь по согласованию с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды и иными государственными органами.

Согласно Закону «Об обращении с отходами» **норматив образования отходов производства (НООП)** – это предельно допустимое количество отходов, образуемое при переработке единицы сырья, производстве единицы продукции или энергии, а также при выполнении работы или оказании услуги. НООП устанавливаются для отходов производства, подлежащих хранению на объектах хранения отходов или захоронению на объектах их захоронения для определения количественных показателей образования отходов производства, лимитов хранения и лимитов захоронения отходов производства.

*Нормативы образования отходов производства* утверждаются производителями этих отходов по согласованию с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь или его территориальными органами. Одного республиканские органы государственного управления по согласованию с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды могут устанавливать для подведомственных им организаций *отраслевые нормативы образования отходов производства* Республики Беларусь. Порядок согласования и утверждения всех видов нормативов образования отходов производства, определяется Советом Министров Республики Беларусь.

Согласно Постановлению Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 22.11.07г. N 89 «О некоторых вопросах разработки нормативов образования отходов производства, порядка их согласования и утверждения» нормативы образования отходов производства разрабатываются для отходов производства, подлежащих захоронению на объектах захоронения и (или) хранения отходов, кроме случаев, при которых:

- отходами производства являются полностью или частично утратившие потребительские свойства предметы, в результате их потребления, за исключением их переработки;

- отходы производства образуются при уничтожении товаров в таможенном режиме и обращенных в доход государства, а также при уничтожении орудий рыболовства из сетематериалов, которые не могут быть использованы для промыслового рыболовства, и продукции рыболовства, затраты на доставку и реализацию которой превышают ее стоимость, осуществляемом в соответствии с Правилами ведения рыболовного хозяйства и рыболовства, утвержденными Указом Президента Республики Беларусь от 8 декабря 2005 г. N 580 "О некоторых мерах по повышению эффективности ведения охотничьего хозяйства и рыбохозяйственной деятельности, совершенствованию государственного управления ими"

(Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2005 г., N 196, 1/6996);

- установлены отраслевые нормативы образования отходов производства республиканскими органами государственного управления по согласованию с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь для подчиненных им или входящих в их состав организаций.

Нормативы образования отходов производства разрабатываются на основе сведений, полученных при инвентаризации отходов производства, а также технологических регламентов, удельных норм расходов сырья и материалов, материально-сырьевого баланса и иной нормативно-технической и технологической документации, регламентирующей производство продукции, тепловой и (или) электрической энергии, выполнение работ или оказание услуг.

Нормативы образования отходов производства применяются для:

- определения количественных показателей образования отходов производства в целях учета отходов производства;
- расчета количества отходов, подлежащих хранению и (или) захоронению при получении разрешений на их хранение и (или) захоронение отходов, при установлении лимитов хранения и захоронения отходов производства.

Количественные значения нормативов образования отходов зависят от специфики технологических процессов конкретного предприятия отрасли. Фрагмент показателей образования отходов производства некоторых технологических процессов представлен в табл. 9.2.

Таблица 9.2.

### ПОКАЗАТЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Технологический процесс	Наименование образующихся отходов и попутных продуктов	Значение удельных показателей
1.1. Черная металлургия		
Производство чугуна	Шлак ваграночный гранулированный	До 8,1 кг/т чугуна
Производство чугуна с использованием кокса литейного	Шлак ваграночный	60,2 кг/т чугуна
Производство чугуна с использованием лома чугуна, чугуна литья	Шлак ваграночный	103,6 кг/т чугуна
Производство чугуна	Шламы очистки ваграночных газов	6,6 кг/т чугуна
Производство стали	Шлаки сталеплавильные	До 178,0 кг/т стали
Производство стали	Железосодержащая пыль окатышей	3,8 кг/т стали
Производство стали	Пыль газоочистных установок	До 28,0 кг/т стали

1.2. Химическая и нефтехимическая промышленность, нефтедобыча, нефтеподготовка и транспорт нефти		
1.2.1. Горно-химическая промышленность		
Производство хлористого калия	Твердые галитовые отходы:	
	флотационный способ	2,8 - 3,3 т/т стандартной продукции <*>
	галургический способ	3,2 - 3,28 т/т стандартной продукции <*>
	Шламы галитовые глинисто-солевые:	
	флотационный способ	0,3 - 0,37 т/т стандартной продукции <*>
	галургический способ	0,42 - 0,45 т/т стандартной продукции <*>
1.2.2. Основная химия		
Производство аммиака на основе паровой конверсии метана в трубчатых печах под давлением 40 атм (абс.)	Конденсат (после использования тепла)	1,338 т/т продукции
Производство серной кислоты контактным способом	Шлам, образующийся при использовании серы технической	1,62 т/т продукции
Производство серной кислоты методом сжигания элементарной серы	Шлам серный	0,003 т/т продукции
Производство метилакрилата	Гелимерные отходы из колонн и агрегатов	0,0035 т/т продукции
Производство сульфата аммония	Шлам (от отстоя маточника)	0,001 т/т продукции
Производство экстракционной фосфорной кислоты на основе апатита (дигидратной, 100% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Фосфогипс-дигидрат (сухой)	4,3 т/т продукции
Производство калиевой селитры	Шлам (от фильтрации)	0,01 т/т продукции
	Соль (после сушки)	4,0 т/т продукции
1.2.3. Промышленность химических волокон и нитей		
Производство (ткацкое) хлопчатобумажных тканей	Хлопчатобумажные отходы	0,015 т/т продукции
	Натрия гидроокись	0,0006 т/т продукции
	Кислота уксусная	0,0025 т/т продукции
	Пыль хлопковая	0,0058 т/т продукции
	Шлам красильного производства	0,013 т/т продукции
Производство нити вискозной технической для корда и технических изделий	Отходы в виде жгута (кислые)	0,004 т/т продукции
	Шлам цинкосодержащий	0,03 т/т продукции
	Отходы в виде вискозы с прогонкой при заменах фильер и гарнитур	0,0158 т/т продукции

Производство нити вискозной текстильной	Отходы вискозной текстильной нити	0,025 - 0,128 т/т продукции
Производство вискозной сосисочной оболочки	Отходы вискозной сосисочной оболочки	0,466 кг/тыс.м продукции
Производство текстильной капроновой нити	Отходы смолистые	0,001 - 0,002 т/т продукции
	Отходы фильерные	0,0005 - 0,032 т/т продукции
	Отходы волокнистые (невытянутые)	0,0203 - 0,0518 т/т продукции
	Отходы волокнистые (вытянутые)	0,0456 - 0,0648 т/т продукции
Производство технической капроновой и кордной ткани (оборудование отечественного производства)	Капролактамы экстракционных вод	0,158 т/т продукции
	Отходы фильерные	0,0015 т/т продукции
	Отходы волокнистые (вытянутые)	0,0531 т/т продукции
	Отходы волокнистые (невытянутые)	0,008 т/т продукции
	Отходы крученые	0,024 т/т продукции
	Обрезки кордной ткани	0,0004 т/т продукции

Нормативы образования отходов производства разрабатываются производителем отходов производства согласно «Инструкции о порядке согласования и утверждения нормативов образования отходов производства» (Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 2007 г., N 183, 2/1368), которая определяет порядок их согласования (с городскими и районными инспекциями природных ресурсов и охраны окружающей среды, Минским городским комитетом природных ресурсов и охраны окружающей среды) и утверждения.

Согласование нормативов образования отходов производства производится в органах согласования, находящихся по месту образования отходов производства, для которых разрабатываются нормативы образования отходов производства.

Органы согласования осуществляют:

- проверку полноты и достоверности документов, представленных для согласования нормативов образования отходов производства;
- согласование нормативов образования отходов производства или принятие решения об отказе в их согласовании.

Согласование нормативов образования отходов производства производится на срок пять лет посредством заполнения органом согласования грифа согласования на титульном листе

**Лимит хранения отходов производства (ЛХОП)** – это количество отходов производства определенного вида, установленное собственнику отходов на определенный период времени для хранения их на объектах хранения отходов.

**Лимит захоронения отходов производства (ЛЗОП)** – это количество отходов производства определенного вида, установленное собственнику отходов на определенный период времени для захоронения их на объектах захоронения отходов.

ЛХОП и ЛЗОП устанавливаются в целях экономического стимулирования юридических лиц и индивидуальных предпринимателей по уменьшению объемов образования отходов производства, увеличению объемов использования отходов производства, а также определения размера платежей за размещение отходов производства.

Они разрабатываются в соответствии с Законом «Об обращении с отходами» собственниками отходов производства с учетом:

- нормативов образования отходов производства;
- мероприятий по предотвращению или уменьшению объемов образования отходов производства, увеличению объемов использования отходов производства.

Лимиты хранения и лимиты захоронения отходов производства утверждаются собственникам отходов производства местными исполнительными и распорядительными органами по согласованию с территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь с учетом:

- мощностей объектов хранения и захоронения отходов, установленных сроков их эксплуатации и количества накопленных отходов на этих объектах;
- наличия действующих на территории соответствующей административно-территориальной единицы и в Республике Беларусь объектов обезвреживания отходов и объектов по использованию отходов производства.

Порядок разработки, согласования и установления лимитов хранения и лимитов захоронения отходов производства определяется Советом Министров Республики Беларусь. В случае нарушения Закона «Об обращении с отходами» деятельность юридических лиц и индивидуальных предпринимателей может быть ограничена, приостановлена или прекращена.

#### **9.4 Формы учета и инвентаризации отходов.**

Учет и инвентаризация отходов ведется юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями не реже одного раза в год в порядке, установленном Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Формой учета является **государственный кадастр отходов (ГКО)**, который представляет собой систематизированный свод данных, включающих количественную и качественную характеристику отходов, сведения об их использовании, хранении, захоронении и обезвреживании.

Ведение ГКО осуществляется в целях: обеспечения реализации основных направлений государственной, в том числе научно-технической, экономической и инвестиционной, политики в области обращения с отходами;

- организации системы государственного контроля за обращением с отходами;
- разработки государственных, отраслевых, региональных программ и мероприятий, направленных на предотвращение или уменьшение объемов

образования отходов, увеличение объемов их использования и экологически безопасное размещение;

- проведения государственной экологической экспертизы проектных решений планируемой хозяйственной или иной деятельности;
- выполнения обязательств Республики Беларусь по ежегодному предоставлению отчетности по Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением, подписанной 22 марта 1989 года в г. Базеле;
- предоставления информации государственным органам, организациям, гражданам по объемам отходов и обращению с ними.

Государственный кадастр отходов содержит сведения по областям, районам и г. Минску:

- об объемах образования, хранения, захоронения, обезвреживания и использования отходов производства по видам и классам опасности;
- об объемах образования, использования, обезвреживания и захоронения твердых коммунальных отходов;
- о введенных в эксплуатацию объектах по использованию отходов, объектах хранения, захоронения и обезвреживания отходов;
- о количестве заготовленного, закупленного и переданного на использование вторичного сырья.

Минприроды осуществляет ведение ГКО. Процедура ведения заключается в:

- сборе исходной информации от государственных органов и других организаций;
- анализе и систематизации собранной информации в соответствии со структурой базы данных;
- формировании и актуализации базы данных кадастра отходов;
- подготовке и публикации информационных бюллетеней.

Ежегодно база данных ГКО обновляется до 15 июня года, следующего за отчетным (Постановление Совета Министров Республики Беларусь N 934 от 19 июня 2010 г. «Об утверждении положения о порядке ведения государственного кадастра отходов»).

Минприроды утверждает структуру ГКО, в основу которой положен классификатор отходов.

**Классификатор отходов** – это перечень образующихся в Беларуси отходов, систематизированных по совокупности приоритетных признаков: происхождению, агрегатному состоянию, степени опасности и возможностям их повторного использования (Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь N 85 от 8 ноября 2007 г. «Об утверждении классификатора отходов, образующихся в Республике Беларусь» (в ред. постановления Минприроды N 48 от 30.06.2009)).

Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь, утверждается Министерством природных ресурсов и охраны окружающей

среды Республики Беларусь по согласованию с Министерством здравоохранения Республики Беларусь и Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь.

### **9.5. Объекты размещения твердых отходов**

Законом Республики Беларусь «Об отходах» N 271-З от 20 июля 2007 г. и Санитарными правилами и нормами 2.1.7.12–9–2006 «Гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для твердых коммунальных отходов» установлены требования к объектам размещения отходов. К числу таких объектов относятся: полигоны, шламохранилища и др., на которых допускается хранение и захоронение ТКО на основании разрешений, выданных специально уполномоченными органами исполнительной власти при наличии положительного заключения государственной экологической экспертизы.

В Беларуси для снижения загрязнения окружающей среды твердыми отходами во многих городах вместо неконтролируемых свалок строят полигоны.

**Полигоны для твердых отходов** – это специальные сооружения, предназначенные для изоляции и захоронения твердых отходов

Полигоны следует размещать:

- на площадках, исключающих загрязнение окружающей среды;
- преимущественно с подветренной стороны (для ветров преобладающего направления) по отношению к населенным пунктам и зонам отдыха;
- на землях несельскохозяйственного назначения или малопригодных для ведения сельского хозяйства;
- на участках со слабофильтрующими грунтами (глиной, суглинками), с пониженным уровнем грунтовых вод более 2,0м);
- ниже потока грунтовых вод относительно населенных пунктов;
- в зонах исключаяющей затопление площадки паводковыми водами.

Запрещается размещение полигонов:

- на территории первого и второго пояса зон санитарной охраны водных и минеральных источников;
- в прибрежных полосах и водоохраных зонах рек и водоемов;
- в заповедных зонах, местах массового отдыха населения и оздоровительных детских учреждений;
- на площадках залегания полезных ископаемых;
- в местах выхода на поверхность трещиновидных пород;
- на болотах с глубиной торфяной залежи более 1м и участках с выходами грунтовых вод.

Размер участка захоронения устанавливается исходя из срока эксплуатации полигона на 5-20 лет.

Расход земельных площадей под полигоны зависит от численности населения города и высоты складирования (табл. 9.3).

Зависимость площади земель под полигоны и высоты складирования  
твердых отходов от численности населения

Численность обслуживаемых жителей в городе, тыс. чел	Расход земельных площадей на 50 тыс. жителей, га/г	Оптимальная высота складирования, м
Менее 50	0,3-0,35	10-15
50-90	0,22-0,25	15-20
100-249	0,18-0,2	20-25
250-499	0,14-0,16	25-35
500-1000	0,09-0,12	30-40
Более 1000	0,05-0,08	35-60

Территория полигона по периметру должна иметь ограждение с устройством одних ворот и шлагбаума во вспомогательной зоне. В качестве ограждения используется осушительная траншея глубиной не менее 2м., вал высотой не менее 3м., или живая изгородь (айва, боярышник). При необходимости отвода от площадки поверхностных и дождевых вод предусматривается устройство нагорных каналов. Вокруг полигона следует устраивать санитарно-защитную зону с сооружениями контроля (контрольные шурфы, колодцы, скважины) высоты стояния грунтовых вод, их физико-химического и бактериологического составов.

Основание выбранной площадки делают в виде огромного котлована (для средней полосы, в которой ежегодно выпадает до 600 мм осадков) глубиной 1,5м. Для равномерного распределения фильтрата (токсичной, ядовитой жидкости из толщ отходов) основание полигона должно быть строго горизонтальным и объемом, рассчитанным на уровень фильтрата над гидрозащитным экраном в 200 м водного столба. Котлован полигон рассчитывается на объем фильтрата из атмосферных осадков и выделяющийся при уплотнении ТО.

Подъездные пути и производственная зона полигона должны иметь искусственное освещение. Временные дороги в производственной зоне могут быть из некондиционных железобетонных плит, щебня, строительных материалов, дороги должны иметь ширину 4,5 м и уклон откоса 1:4.

Во вспомогательной зоне необходимо предусматривать производственно-бытовое здание – инвентарный (мобильный) вагон; контрольно-дезинфицирующую ванну, заполненную 3% раствором лизола или опилками.

Мощность полигонов определяется количеством отходов в течении года.

Материалы и конструкции гидрозащитных экранов зависят от гидрогеологических условий площадки полигона. Фильтрат при этом остается в пределах полигона и не загрязняет водоемы и подземные воды. При размещении карт (технологические инженерно обустроенные участки для хранения и захоронения ТО) захоронения ТО на слабопроницаемом грунте с коэффициентом фильтрации 0,0086 м/сут, специальных

мероприятий по устройству гидрозащитных экранов не требуется. На более проницаемых грунтах предусматривают изоляцию дна и откосов карт глиняным экраном с применением уплотненной глины мощностью 0,3 м, пленочный изоляционный экран. Нижняя отметка захоронения отходов (дно карты) должна быть на 0,5 м. выше уровня грунтовых вод.

Полигоны целесообразно размещать в выработанных карьерах или на свободных площадках. Участок складирования разбивают на пусковые комплексы со сроком эксплуатации каждого 1,5-2,0 года.

При размещении полигонов в выработанном карьере или искусственно созданном котловане устраивают рабочий съезд (уклон не более 5%) на дно карты. Вначале разгрузочные площадки устраивают на дне котлована, в дальнейшем – на уплотненном и изолированном слое ТО после их 3-4 месячного захоронения. Оптимальная площадь площадки – до 50м<sup>2</sup>. Укладку и уплотнение ТО необходимо производить слоями мощностью 0,2-0,5 м. В конце рабочего дня слой отходов высотой 2 м. подлежит наружной изоляции минеральным грунтом или иным материалом. При совместном хранении коммунальных и промышленных отходов, последние используются в качестве изолятора. Уплотнение производят 2-4 кратным прохождением бульдозера. В теплый период изоляция уплотненных ТО производится ежедневно. Зимой допускается использование снега в качестве временного изолятора.

Для контроля высоты укладываемых и уплотняемых слоев ТО на карте полигона устанавливают репер (мерный столб) с нанесенными яркой краской мерными делениями.

Сжигание отходов на территории полигона запрещается.

Завершение эксплуатации полигона осуществляется после заполнения его до проектной отметки. Защита последнего слоя выполняется в зависимости от назначения и условий дальнейшего использования участка (таблица 9.4).

Таблица 9.4

Условия использования полигона ТО после его заполнения

Условия использования полигона после его эксплуатации	Слой изолирующего грунта, м
Лесопосадка	0,25
Лыжные горки	0,6
Спортивные площадки упрощенного типа, автостоянки, фруктовые сады	1,0
Луга и пашни	0,4-0,6
Огородные культуры	0,6
Склады строительных материалов и тары не пищевого назначения	1,5

Предусмотрены следующие сроки стабилизации рекультивируемой площади полигонов: 4 года – для посева многолетних трав, создания пашни, сенокосов, газонов; 5 лет – для посадки кустарников, сеянцев; 7 лет – для посадки деревьев; 20 лет – для создания огородов и садов.

Рекультивация включает последовательно технический и биологический этапы:

- технический этап – формирование рекультивируемого слоя, планировка, формирование откосов и нанесение плодородных почв;
- биологический этап – проведение агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на восстановление нарушенных земель.

### 9.6 Обращение с твердыми отходами

В мировой практике наибольшее распространение получили следующие методы обращения с ТО: 1) компостирование с получением азотного удобрения или биотоплива; 2) сжигание отходов на мусоросжигательных заводах; 3) переработка на мусороперерабатывающих заводах.

1) Переработка твердых отходов на **компост** является более совершенным приемом их обезвреживания и использования. При этом выделяют два вида производства компостов: полевое компостирование и промышленная переработка ТО компост на мусороперерабатывающих заводах (МПЗ).

**Компост** - это органические удобрения, получаемые в результате разложения микроорганизмами растительных и животных остатков, содержащие большое количество тяжелых металлов и других веществ.

В полевых условиях для его производства используют экскременты животных, помет птиц в смеси с торфом, опавшие листья, городской мусор, солому и другие ингредиенты. При этом способе компостирования в органической массе повышается содержание питательных веществ (азота, фосфора) в биологически доступной для растений форме, обезвреживается патогенная микрофлора, уменьшается количество целлюлозы и пектиновых веществ. Состав и способ приготовления компостов в полевых условиях зависит от типа почвы и культивируемых на ней культур. Иногда компосты заменяют остродефицитные органические удобрения (навоз, торф).

Наиболее совершенным является непрерывный процесс компостирования с аэробным окислением органических отходов во вращающемся барабане ферментере, применяемом на МПЗ.

Твердые отходы перегружаются в бункер-накопитель, откуда они грейферным краном подаются в загрузочные воронки, из которых магнитным сепаратором извлекают металлический лом. Последний затем пакетируется и реализуется как вторичное сырье.

Частично освобожденная от металла масса затем поступает во вращающиеся барабанные грохоты, сделанные на основе обжиговых цементных печей. В них происходит переработка мусора в органическое удобрение – компост. Процесс происходит с выделением тепла, вследствие чего компостируемая масса обезвреживается, а бумажная и пищевые отходы измельчаются до размера частиц 1-2 мм. После дополнительной сепарации металла масса попадает на грохот для отделения некомпостируемых отходов: резины, кожи, текстиля и др. материалов, объем которых составляет до 1/3 массы от перерабатываемых отходов. При окислении отходов в барабане

происходит выделение газообразных продуктов распада (преимущественно углекислого газа), которые отводятся в топку котельной.

Компостируемый материал из грохота поступает в измельчитель, после обработки в котором, компост, содержащий около 1% азота и по 0,3% фосфора и калия, можно использовать для повышения продуктивности культур растениеводства в сельском хозяйстве. Однако, внесение такого компоста в почву может привести к загрязнению почвы и продуктов сельскохозяйственного производства тяжелыми металлами.

Некомпостируемая часть отходов после удаления из нее тяжелых металлов, вывозится и подлежит захоронению. Кроме того, отсеянные некомпостируемые части отходов могут подвергаться термической переработке – пиролизу. При этом отходы поступают в печь, в которой без доступа воздуха при температуре 800-1000°C происходит их термическое разложение. Окончательными продуктами пиролиза являются: пирокарбон, смола и газ. Пирокарбон далее используется в металлургической промышленности, газ (после обеспыливания в электрофильтрах на 96-98%) и смола - в качестве энергетического топлива.

Компостирование - достаточно рациональный способ ликвидации определенных отходов, однако при переработке отходов, содержащих металлы, последние могут накапливаться в компосте в больших количествах. Во избежание загрязнения компоста тяжелыми металлами последние стараются заблаговременно удалить.

Считается целесообразным осуществлять совместное обезвреживание и переработка ТО и осадка сточных вод. Такая технология способствует насыщению компоста разнообразной полезной для почвы микрофлорой и микроэлементами и позволяет поддерживать биотермический процесс в оптимальном режиме. Он сопровождается нагреванием обезвреживаемой массы до температур 60-70°C, что обеспечивает гибель большинства болезнетворных микроорганизмов, включая яйца гельминтов, личинки мух.

**2) Сжигание твердых отходов на мусоросжигательных заводах** нельзя считать целесообразным так как при этом загрязняется воздушная среда не используется образующаяся тепловая энергия. Сжигание твердых отходов может быть оправдано только на мусоросжигательных станциях (заводах), имеющих паровые или водогрейные котлы со специальными топками с расположенными в них наклонно вращающимися валками колосниковой решетки. Шлак, образующийся при сжигании, транспортируют при помощи шлакоудалителя в бункер. Металлолом извлекается из отходов при помощи магнитного сепаратора и в дальнейшем используется в качестве вторичного сырья. В котлах при температуре не менее 1000°C обеспечивается сгорание неприятно пахнущих газов, затем осуществляется их очистка с использованием электрических фильтров (очистка от пыли происходит на 96-98%). Кроме того, пар, вырабатываемый котлами, с давлением 13 атм. и температурой до 200°C утилизируется в качестве тепловой энергии для нужд МСЗ.

В настоящее время выбор способа обезвреживания твердых отходов определяется экологической составляющей. Сжигание твердых отходов на МСЗ в странах Европы признано нецелесообразным, как с экологической, так и с экономической точек зрения. Доказательством этого служит консервация строительства МСЗ в европейских странах в течении последних 10 лет. Процессу сжигания подвергается лишь та часть отходов, которая формируется после сортировки и утилизации ТО. Причина этого заключается в том, что при сжигании ТО, имеющего сочетание разнообразных компонентов, образуется ряд вредных продуктов для здоровья человека и экосистем. В их числе: диоксины, фосген, синильная кислота и другие, а также золы и шлаки неизвестного состава, обладающие непредсказуемыми свойствами.

**Диоксины** - общепринятое название группы 200 органических веществ, которые относятся к классу полихлорированных полициклических соединений (ПХ ПЦС). Диоксины отнесены к категории очень опасных веществ – **супертоксикантов**, система мер по снижению воздействия которых на международном уровне зафиксирована в специальном документе - Стокгольмской Конвенции, открытой для подписания 23 мая 2001 г.

Диоксины являются канцерогенами (провоцируют онкологические заболевания) и тератогенами (воздействуют на генофонд человека). Диоксины, воздействуя на белковый обмен, вызывают мутации клетки ДНК и одновременно вызывают разрушение лекарственных препаратов. В связи с этим уровень содержания диоксинов нормируется во всех компонентах окружающей среды: для воздуха ПДК -  $0,5 \cdot 10^{-9}$  мг/м<sup>3</sup>, воды -  $2 \cdot 10^{-8}$  мг/дм<sup>3</sup>, почвы - 0,06 мг/кг.

Одним из основных источников диоксинов является зола МСЗ, содержащая от 0,1 до 0,2 мг этого ингредиента на каждый килограмм.

Содержатся диоксины и в саже, в том числе и пепле сигарет в количестве до  $0,5 \cdot 10^{-12}$  г на 1 кг сажи (пепла).

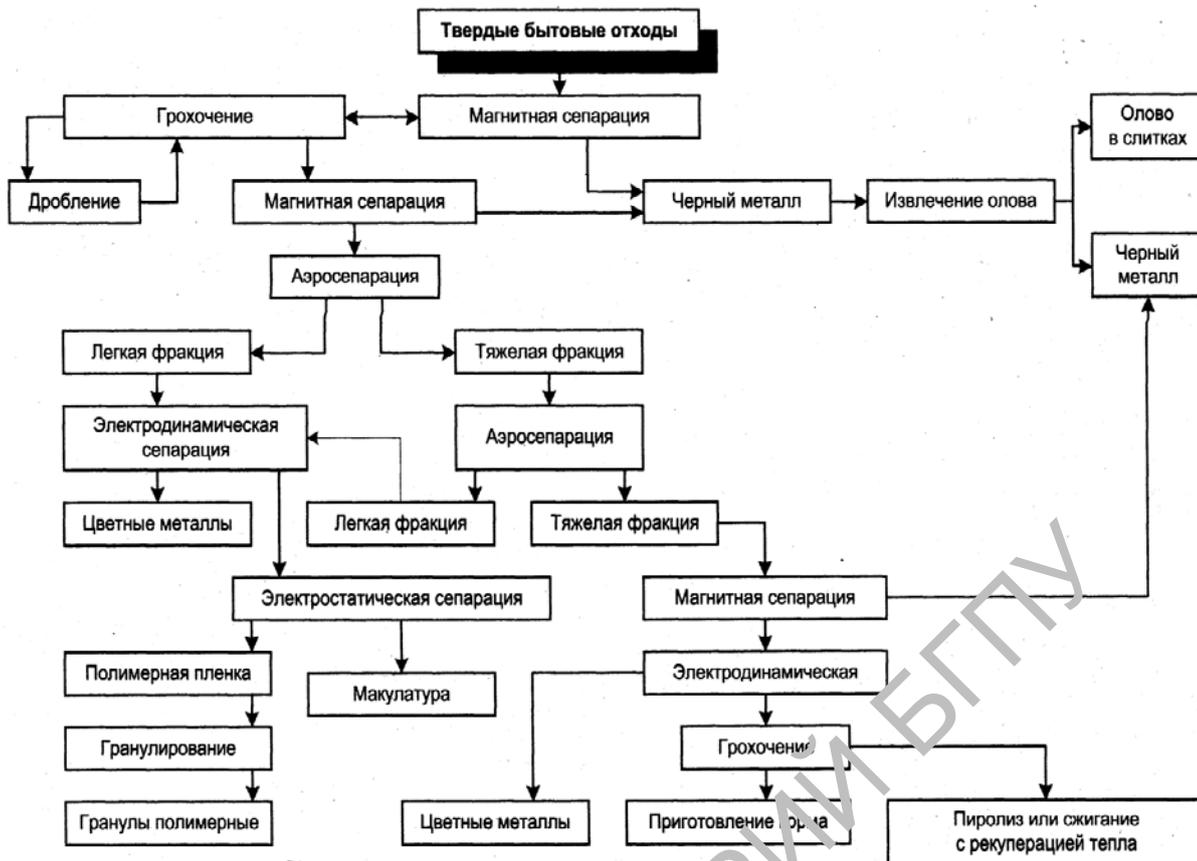
Наличие диоксиновой опасности предусматривает реализацию не только ряда мероприятий по контрольному мониторингу, но и разработка рекомендаций по предотвращению загрязнения ими природной среды (исключение хлорсодержащих материалов из бытовых нужд, предупреждение сжигания несортированного мусора и опавших листьев, возгорание мест его временного хранения). Возникновение диоксиновой опасности явилось причиной прекращения функционирования многих МСЗ в США, Нидерландах и других странах. Работающие же МСЗ были технически модернизированы, включая внедрение многоступенчатой системы очистки, которая реализовывалась за счет следующего оборудования: электрофильтр грубой очистки; испаритель загрязненной воды (разбрызгиватель); электрофильтр тонкой очистки; скруббер водный (1-я ступень); скруббер щелочной (2-я ступень); очиститель сточных вод скрубберов; теплообменник; реактор на активированном угле; пылевые фильтры; подогреватель газов перед дожиганием; реактор-дожигатель для дожигания диоксинов.

### **3) Переработка ТО на мусороперерабатывающих заводах (МПЗ)**

более экологически безопасна и экономически целесообразна по отношению как к процессу их захоронения на полигонах, так и сжигания на МСЗ. Это связано как с ростом ценности ТО как комплексного сырья, так и с совершенствованием технологии переработки ТО. В частности, в структуре ТО выделяют следующие компоненты: 20-40% макулатуры, 2-3% черных и цветных металлов, 25-40% пищевых отходов, 1-5% пластмассы, 4-6% стекла, 4-6% текстиля и др. Поэтому, ТО следует подвергать глубокой переработке на МПЗ. При этом обязательными стадиями ее технологического процесса является наличие двухступенчатой системы сбора и переработки, так как в этом случае транспортировка отходов осуществляется уже не на полигон, а на расположенный в черте города МПЗ.

Многие МПЗ работают по простой схеме: сортировка, измельчение, уплотнение, прессование, извлечение из отходов полезных материалов (рис. 9.2). Рассмотрим стадии технологического процесса. В процессе магнитной сортировки из ТО выделяется металл, остальная часть ТО после измельчения подвергается компостированию. После увлажнения субстрата до 45-60% из него извлекаются стекло, песок, камни и иные не компостируемые материалы. Часть из них (остатки резины, пластика, пленок и т. п.) смешивается с такими же промышленными отходами и подвергается пиролизу с получением газового топлива и пирокарбона (углерода) или вывозится на полигоны.

Оптимизация системы мусоропереработки может быть решена на стадии сбора населением коммунальных и промышленных отходов при условии предварительного их разделения. В этом случае работа МПЗ сведется к сортировке составляющих внутри каждой из указанных групп и передаче их на переработку специализированным заводам. В таком режиме функционируют зарубежные МПЗ. Преимущества их деятельности заключаются в следующем: снижается уровень выбросов вредных веществ в атмосферу, сокращается объем добычи минерального сырья за счет использования вторичных ресурсов, снижается численность парка мусоровозов, уменьшаются площади полигонов и одновременно увеличивается время их эксплуатации (до 40%), снижается стоимость мусоропереработки за счет реализации ряда продуктов, полученных в результате его переработки (до 55% ТО превращают в товарную продукцию: пищевые отходы – в гранулированное органическое удобрение, пластик - в полимерную пленку).



**Рис. 9.2.** Технологическая схема переработки ТО на мусороперерабатывающих заводах.

По уровню токсичности мусоросжигательные и мусороперерабатывающие заводы мощностью более 40 тыс. т/год отнесены к предприятиям I класса опасности с установлением санитарно-защитной зоны (СЗЗ) не менее 1000 м, а до 40 тыс.т/год - ко II классу (СЗЗ - 500 м), предприятия по компостированию - к III классу (СЗЗ не менее 300 м).

### 9.7. Обращение с опасными отходами

Определение понятий об опасных отходах (ОП) и обращении с отходами было приведено в разделе 9.1 настоящей главы.

Основными нормативными документами, регламентирующими обращение с опасными отходами кроме Закона Республики Беларусь «Об отходах» N 271-З от 20 июля 2007 г., являются: Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь N 62/23/13 «Об утверждении положения о порядке определения опасности отходов и установления класса опасности опасных отходов» от 30 октября 2001 г., Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь N 35 «О некоторых вопросах хранения и захоронения отходов производства» от 16 апреля 2008 г., Постановление Совета Министров Республики Беларусь N 1104 «О некоторых вопросах в области обращения с отходами» от 3 июля 2010 г., СанПиН «Гигиенические

требования к организации санитарно-защитных зон предприятий, сооружений и иных объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду» №78 от 30.06.2009г., «Гигиенические требования к накоплению, транспортированию и захоронению токсичных промышленных отходов» 2.1.7.12-42-2005, Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерства здравоохранения Республики Беларусь, Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь N 3/13/2 от 17 января 2008 г. «Об утверждении инструкции о порядке установления степени опасности отходов производства и класса опасности опасных отходов производства».

Обращение с каждым видом опасных отходов зависит от их происхождения, агрегатного состояния, физико-химических свойств субстрата, количественного соотношения компонентов и степени опасности для здоровья населения и среды обитания человека.

По степени опасности ОП классифицируются на опасные и неопасные отходы. Степень опасности отходов и класс опасности опасных отходов устанавливаются на основании определения опасных для окружающей среды, здоровья граждан, имущества свойств отходов и указываются в классификаторе образующихся в Республике Беларусь отходов.

Класс опасности опасных отходов определяется их токсичностью. **Токсичность** - способность отходов при попадании внутрь организма через органы дыхания, пищеварения или кожу вызывать серьезные, затяжные или хронические заболевания, включая раковые заболевания.

На степень опасности и класс опасности оказывают влияние: взрывоопасность, пожароопасность, токсичность продуктов горения, высокая реакционная способность, инфекционность.

**Взрывоопасность** - способность отходов или их смеси к химической реакции с выделением газов при такой температуре и давлении и со скоростью, вызывающей повреждение окружающих предметов.

**Пожароопасность** – это способность отходов (кроме классифицированных как взрывчатые) самовозгораться, загораться, вызывать или усиливать пожар при трении; самопроизвольно нагреваться при нормальных условиях или нагреваться при соприкосновении с воздухом, а затем самовоспламеняться.

**Токсичность продуктов горения** – это способность отходов при горении выделять токсичные вещества, которые попадая внутрь организма через органы дыхания, пищеварения или кожу вызывают серьезные, затяжные или хронические заболевания, включая раковые заболевания.

**Реакционная способность** – это характеристика химической активности отходов.

**Инфекционность** – это способность отходов, содержащих живые микроорганизмы или токсины, вызывать заболевания у животных и людей (Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерства здравоохранения Республики

Беларусь, Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь № 3/13/2 от 17 января 2008 г. «Об утверждении инструкции о порядке установления степени опасности отходов производства и класса опасности опасных отходов производства»).

Класс токсичности опасных отходов устанавливается исходя из наиболее высокого класса опасности, определенного по результатам исследования свойств отходов. Опасные отходы могут принадлежать к более высокому классу опасности, если они обладают дополнительными опасными свойствами или особыми характеристиками. При одновременном присутствии неопасных и опасных отходов, принадлежащих к разному классу опасности, класс опасности смеси отходов устанавливается по наиболее высокому классу опасности опасного отхода, входящего в смесь.

Если степень и класс опасности отходов производства не указаны в классификаторе образующихся в Республике Беларусь отходов, то они устанавливаются их производителями или собственниками (Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь, Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь № 62/23/13 «Об утверждении положения о порядке определения опасности отходов и установления класса опасности опасных отходов» от 30 октября 2001 г.).

Процесс обращения с опасными отходами (жизненный цикл отходов) включает в себя следующие этапы:

- 1) сбор и накопление,
- 2) временное хранение и транспортировка,
- 3) складирование,
- 4) первичная обработка (сортировка, дегидратация, нейтрализация, прессование, тарирование и др.) и вторичная переработка (обезвреживание, модификация, утилизация, использование в качестве вторичного сырья),
- 5) захоронение.

1) Условия **сбора и накопления** определяются классом опасности отходов, способом упаковки с учетом агрегатного состояния и надежности тары. При этом накопление твердых отходов I класса разрешается исключительно в герметичных емкостях (контейнеры, бочки, цистерны); II - в надежно закрытой таре (полиэтиленовых мешках, пластиковых пакетах, закрытых ящиках); III - в бумажных мешках и ларях, хлопчатобумажных мешках, текстильных мешках; IV - навалом, насыпью, в виде гряд. Накопление ОП на производственной территории осуществляется по цеховому принципу или централизованно.

2) **Временное хранение** опасных отходов производства, которые не могут быть утилизированы на предприятиях, осуществляется по цеховому принципу или централизованно.

Предельное количество отходов на территории предприятия - количество отходов, которое размещается на территории промышленной площадки при условии выделения вредных веществ в воздушную среду территории предприятия в концентрациях, не превышающих 30% ПДК

воздуха рабочей зоны, и отсутствии загрязнения почвы и водных объектов в количествах, превышающих санитарные нормы.

Предельное количество отходов на территории определяется проектом обращения с отходами предприятия по согласованию с органами госнадзора на основе классификации отходов: по классу опасности отходов (1-4 класс опасности), по их физико-химическим свойствам – агрегатному состоянию (твердые и жидкие), летучести, возможности химических реакций. При наличии в составе отходов разного класса опасности расчет предельного их количества для единовременного хранения должен определяться наличием и удельным содержанием наиболее опасных веществ (I – II классов).

Временное хранение производственных отходов на производственной территории предназначается:

- для селективного сбора и накопления отдельных разновидностей отходов;
- для использования отходов в последующем технологическом процессе с целью обезвреживания (нейтрализации), частичной или полной переработки и утилизации на вспомогательных производствах.

Временное хранение и транспортировка опасных отходов допускается:

- на производственной территории основных производителей (изготовителей) отходов;
- на приемных пунктах сбора вторичного сырья;
- на территории и в помещениях специализированных предприятий по переработке и обезвреживанию токсичных отходов;
- на открытых и специально оборудованных для этого площадках.

В зависимости от технологической и физико-химической характеристики отходов допускается их временное хранение:

- в производственных или вспомогательных помещениях;
- в нестационарных складских сооружениях (под надувными, ажурными и навесными конструкциями);
- в резервуарах, танках, накопителях и прочих наземных и заглубленных специально оборудованных емкостях;
- в вагонах, цистернах, вагонетках, на платформах и прочих передвижных средствах;
- на открытых, приспособленных для хранения отходов площадках.

В производственных или вспомогательных помещениях осуществляется временное хранение токсичных отходов на их стадии формирования, сбора и сортировки на различных стадиях технологического процесса или по его окончании до накопления предельного количества отходов.

При временном хранении отходов *в нестационарных складах*, на открытых площадках без тары (навалом, насыпью) или в негерметичной таре должны соблюдаться следующие условия:

- временные склады и открытые площадки должны располагаться с подветренной стороны по отношению к жилой застройке;
- поверхность хранящихся насыпью отходов или открытых приемников накопителей должна быть защищена от воздействия атмосферных осадков и ветров (укрытие брезентом, оборудование навесом и т.д.);
- поверхность площадки должна иметь искусственное водонепроницаемое и химически стойкое покрытие (асфальт, керамзитобетон, полимербетон, керамическая плитка и др.);
- по периметру площадки должна быть предусмотрена обваловка и обособленная сеть ливнепроводов с автономными очистными сооружениями; допускается ее присоединение к локальным очистным сооружениям в соответствии с техническими условиями;
- поступление загрязненного ливнепровода с этой площадки в общегородскую систему дождевой канализации или сброс в ближайшие водоемы без очистки не допускается.

На *открытых площадках* хранение сыпучих летучих отходов и мелкодисперсных отходов в открытом виде (навалом) без применения средств пылеподавления не допускается.

В *закрытых складах*, используемых для временного хранения отходов I-II классов опасности, предусматривается пространственная изоляция и раздельное хранение веществ в отдельных вентилируемых отсеках (ларях) на поддонах.

Предельное количество хранения отходов на промышленных территориях не нормируется:

- для твердых отходов, концентрированных жидких и пастообразных отходов I класса опасности, упакованных в полностью герметичную тару в закрытом помещении, исключающем доступ посторонних лиц;
- для твердых, сыпучих и комковатых отходов II и III классов, хранящихся в соответствующей надежной металлической, пластиковой, деревянной и бумажной таре.

На предприятиях разрабатываются, согласовываются с органами государственного санитарного надзора и утверждаются **инструкции по удалению токсичных промышленных отходов** с их территории.

Периодичность вывоза опасных отходов с территории предприятия зависит от лимитов их накопления, определенных проектом обращения предприятия с отходами. При нарушении единовременных лимитов накопления или при превышении гигиенических нормативов качества среды обитания человека (атмосферный воздух, почва, грунтовые воды) отходы подлежат немедленному вывозу с территории.

Удаление и последующее размещение опасных отходов в природных или искусственных понижениях рельефа (выемки, котлованы, карьеры и др.) допускается после проведения подготовки ложа на основании предпроектных проработок. Кроме того малоопасные отходы (IV класса) могут

складироваться как на территории предприятия, так и за его пределами на специально спланированных отвалах и хранилищах.

Вид транспорта, используемого при перемещении отходов в пределах предприятия, зависит от санитарно-гигиенических требований, предъявляемым, как к данному виду отходов, так и системам его транспортировки. Для сыпучих отходов предпочтительно использование трубопроводного транспорта (пневмовакуумного), для других видов отходов - ленточные транспортеры, другие горизонтальные и наклонно-передаточные механизмы. При перемещении отходов в закрытых помещениях предприятия целесообразно использовать гидро-, пневмосистемы, автокары, на территории открытого пространства - внутризаводской автомобильный, узкоколейный и железнодорожный транспорт, вне предприятия - всеми видами транспорта – трубопроводным, канатным, автомобильным, железнодорожным, водным, воздушным.

Перевозка опасных отходов от основного предприятия к вспомогательным производствам и на полигоны захоронения осуществляется специально оборудованным транспортом основного производителя или специализированных транспортных фирм. При этом конструкция и условия эксплуатации специализированного транспорта должны исключать возможность аварийных ситуаций, потерь и загрязнения окружающей среды по пути следования и при перевалке отходов с одного вида транспорта на другой. Все виды работ, связанные с загрузкой, транспортировкой и разгрузкой отходов на этих производствах, должны быть механизированы и герметизированы.

### 3) Различают следующие основные способы **складирования**:

- временное хранение на производственных территориях на открытых площадках или в специальных помещениях (в цехах, складах, в резервуарах и др.);
- временное хранение на производственных территориях основных и вспомогательных (дочерних) предприятий по переработке и обезвреживанию отходов (в алмазах, хранилищах, накопителях); а также на промежуточных (приемных) пунктах сбора и накопления, в том числе на терминалах, железнодорожных сортировочных станциях, в речных и морских портах;
- хранение вне производственной территории – на усовершенствованных полигонах отходов, шламохранилищах, в отвалах пустой породы, террикониках, золошлакоотвалах, а также в специально комплексах по их переработке и захоронению;
- хранение на площадках по обезвоживанию илового осадка от очистных сооружений (СанПиН 2.1.7.12-42-2005 «Гигиенические требования к накоплению, транспортированию и захоронению токсичных промышленных отходов»).

4) первичная обработка (сортировка, дегидратация, нейтрализация, прессование, тарирование и др.) и вторичная переработка (обезвреживание, модификация, утилизация, использование в качестве вторичного сырья),

Первичная обработка начинается с сортировки – основы экологически безопасной утилизации отходов. Сортировка отходов позволяет решить сразу две важнейшие проблемы. Во-первых, выделить высокотоксичные материалы (свинцовые аккумуляторы, ртутьсодержащие лампы, химические источники тока и др.). Они накапливаются в герметичных контейнерах и по мере накопления направляются специализированным организациям на обезвреживание или использование. Во-вторых, извлекаются материалы (бумага, пластмасса, стекло, черные и цветные металлы и т.п.), пригодные для повторного использования. Образующиеся не утилизируемые остатки («хвосты») могут быть экологически безопасно сожжены в печах мусоросжигательных заводов или захоронены на полигонах. Важным моментом является предварительная подготовка отходов. Особенно это касается отходов, имеющих более высокую опасность и токсичность. Проводится ручная разработка квалифицированными специалистами неликвидной продукции и промышленных отходов с выделением токсичных элементов, которые размещаются в герметичных контейнерах. Осуществляется предварительная *нейтрализация* до pH 6-8 кислотных и щелочных продуктов (товары бытовой химии, химические реактивы, гальванические электролиты и др.). После нейтрализации жидкости поглощаются сорбентами (глауконит, торф и др.) и на дальнейшую переработку направляются в виде шпалов. На этой же стадии извлекаются элементы, пригодные для вторичного использования (металл, пластмасса и др.). Проводится резка с использованием ручного электроинструмента крупногабаритных изделий (неликвиды рекламной и демонстрационной продукции, оборудование, бытовая техника и др.) Затем отходы *измельчаются* в shredders и дробилках. Из промышленных отходов предварительному измельчению подвергаются деревянные железнодорожные шпалы, затвердевшие отходы клея, лакокрасочных материалов, резиновые изделия, автопокрышки, лекарственные средства и др. Жидкие продукты предварительно поглощаются сорбентами (торф, глауконит и др.).

Наиболее распространенными *методами переработки опасных отходов* являются:

- сортировка (для чего используются грохочение, гидравлическая классификация и воздушная сепарация);
- уменьшение размеров кусков, частиц (помол, дробление);
- увеличение размеров частиц (высокотемпературная агломерация, брикетирование, таблетирование, гранулирование);
- термическая обработка;
- смешение;
- обогащение (флотация, отсадка, магнитная и/или электрическая сепарация);
- выщелачивание (экстрагирование);
- растворение;

- кристаллизация и т. д.

Переработка опасных отходов по заводской технологии выступает как наиболее оптимальный метод их использования. При всем разнообразии способов переработки общая схема процесса и применяемого при этом оборудования может быть представлена следующим образом.

**Сортировка отходов** обычно применяется для отделения посторонних включений, таких как ветошь, остатки бумажной и деревянной тары, металлических предметов и т. д.

Вторая стадия - **измельчение** – это процесс, в результате которого отходы приобретают размеры, достаточные для их дальнейшей переработки. По окончании измельчения полученный материал подвергают отмывке от загрязнений, затем повторно отделяют от посторонних примесей. Далее происходит **термическая обработка** промежуточного продукта, по окончании которой высушенные измельченные отходы **смешивают** при необходимости со стабилизаторами, наполнителями и другими ингредиентами и подвергают процессу **гранулирования**. Полученный продукт затем используют в качестве наполнителя при производстве строительных материалов или в дорожном строительстве.

Третья стадия – обогащение, которое включает несколько различных процессов.

**Флотация** - процесс разделения мелких твёрдых частиц, основанный на различии их в смачиваемости водой. Гидрофобные (плохо смачиваемые водой) частицы избирательно закрепляются на границе раздела фаз, обычно газа и воды, и отделяются от гидрофильных (хорошо смачиваемых водой) частиц. При флотации пузырьки газа или капли масла прилипают к плохо смачиваемым водой частицам и поднимают их к поверхности. Для очистки воды и извлечения компонентов из разбавленных растворов разработан метод ионной флотации, при котором отдельные ионы, молекулы, тонкодисперсные осадки и коллоидные частицы взаимодействуют с флотационными реагентами-собирателями, чаще всего катионного типа, и извлекаются пузырьками в пену или плёнку на поверхности раствора. Тонкодисперсные пузырьки для флотации из растворов получают также при электролитическом разложении воды с образованием газообразных кислорода и водорода (электрофлотация).

**Отсадка** – процесс, который базируется на разделении зернистого материала по плотности в вертикальном пульсирующем потоке воды или сжатого воздуха знакопеременной скорости.

**Электрическая сепарация** - процесс разделения сухих частичек вещества в электрическом поле по величине или знаку заряда, созданного на частичках в зависимости от их электрических свойств, химического состава, размеров. В зависимости от способа создания на частичках заряда и его передачи в процессе электрической сепарации различают: электростатическую, коронную, диэлектрическую, трибоадгезионную сепарацию.

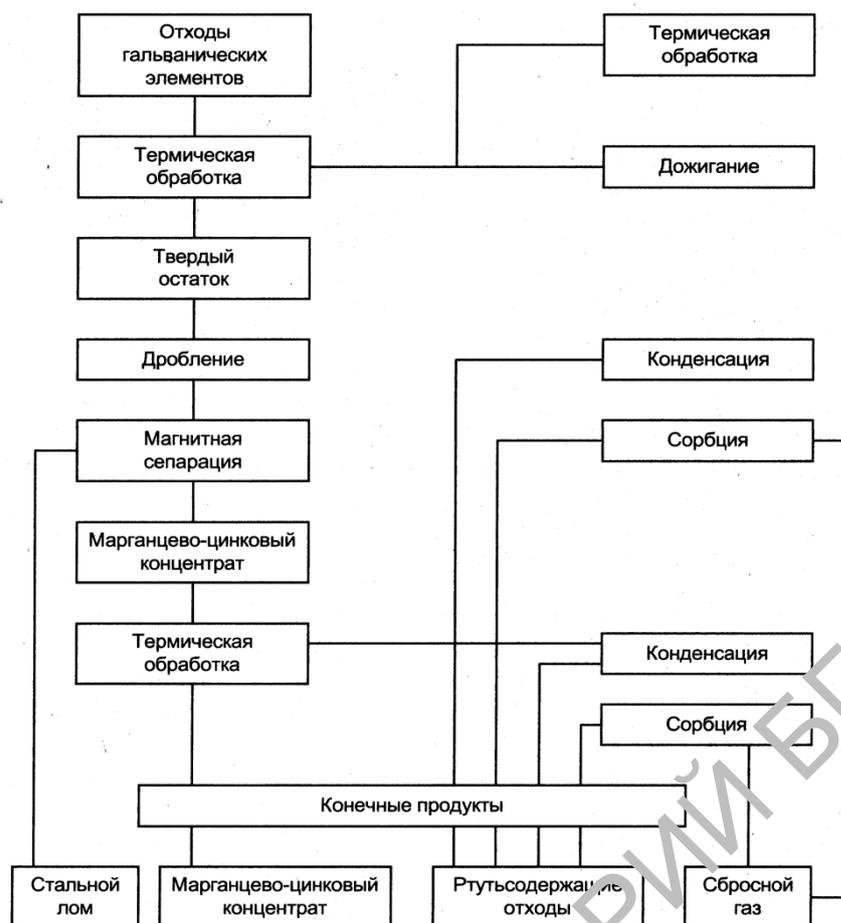
**Магнитная сепарация** — технология разделения материалов на основе различия их магнитных свойств (магнитной восприимчивости) и различного поведения материалов в зоне действия магнитного поля, изменяющего гравитационную траекторию материалов.

Следующий этап – **выщелачивание**. Включает по меньшей мере два процесса: химический — перевод одного из веществ в растворимое состояние, и физико-химический — растворение в воде. Перед выщелачиванием твёрдое вещество в случае необходимости подвергают механической обработке (дробление, измельчение) и химической — вскрытию (окисление или восстановление в пульпе, обжиг, спекание, сульфатизация и др.). Выщелачивание осуществляется перемешиванием (аagitацией) мелкого твёрдого материала с жидким растворителем в контакте с газообразным реагентом.

**Растворение** проводится с использованием различных веществ, в частности, биокоагулянтов. **Кристаллизация** - метод очистки вещества, основанный на различии растворимости вещества в растворителе при различных температурах.

В качестве примера на рис. 9.3 приведена схема процесса демеркуризации (удаления ртути) некоторых отходов.

Главным направлением в устранении или снижении вредного воздействия на ОС токсичных отходов промышленности является их повторное использование в производственных циклах, то есть организация малоотходных производств. Тем не менее для нейтрализации таких отходов используют специальные сооружения по **захоронению опасных отходов на полигонах и объектах складирования токсичных отходов**, которые могут находиться как в пределах территории самого предприятия, так и за его пределами.



**Рис. 9.3.** Схема процесса деме́ркуризации отходов потребления и производства гальванических элементов.

5) Выбор участка для **захоронения опасных отходов на полигонах и объектах складирования токсичных отходов** осуществляется на основании *функционального зонирования территории и градостроительных решений*.

Объекты размещаются за пределами жилой зоны и на территориях с обеспечением нормативных размеров санитарно-защитной зоны (СЗЗ). Санитарно-защитная зона, отделяет полигон от населенных пунктов, открытых водоемов, объектов культурно-оздоровительного назначения. Ее величина определяется с учетом местных условий, и не может быть менее 1000 м. СЗЗ для участков захоронения ТКО и твердых отходов производства, не подлежащих вторичной переработке, для мусоросжигательных и мусороперерабатывающих объектов мощностью свыше 40 тыс. т/год соответствует 1000м., для мусоросжигательных и мусороперерабатывающих предприятий, участков компостирования твердых коммунальных отходов - 500 м, для компостирования отходов без навоза и фекалий - 300 м, для мусороперегрузочных станций и сортировочно-прессовальных станций твердых коммунальных отходов - 100 м (Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 78 от 30 июня 2009 г. СанПиН «Гигиенические требования к организации санитарно-защитных зон

предприятий, сооружений и иных объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду»).

Размещение объекта захоронения *не допускается* на территории I, II и III поясов зон санитарной охраны водосточников и минеральных источников;

- во всех поясах зоны санитарной охраны курортов;
- в зонах массового загородного отдыха населения и на территории лечебно-оздоровительных учреждений;
- в рекреационных зонах;
- в местах выклинивания водоносных горизонтов;
- в границах установленных водоохраных зон открытых водоемов.

Объекты захоронения опасных отходов предназначаются для длительного их хранения при условии обеспечения санитарно-эпидемической безопасности населения весь период их эксплуатации после закрытия.

• *Требования к участку для размещения полигона токсичных отходов:* расположение на территориях с уровнем залегания подземных вод на глубине более 20 метров с коэффициентом фильтрации подстилающих пород до 10-6 см/с; расстоянии 2 и более метров от земель сельскохозяйственного назначения, используемых исключительно для выращивания технических культур;

• размер участка определяется производительностью, видом и классом опасности отходов, технологией переработки, расчетным сроком эксплуатации 20-25 лет и последующей возможностью использования отходов;

• зонирование участка объекта в зависимости от назначения и вместимости объекта, степени переработки отходов с выделением административно-хозяйственной и производственной зон.

*Требования к инженерным сооружениям полигона для размещения токсичных отходов:*

- подключение централизованных сетей водоснабжения и канализации;
- наличие локальных очистных сооружений для очистки поверхностного стока и дренажных вод;
- формирование в зоне складирования системы нагорных канав, дождевой канализации для перехвата поверхностного стока, дренажной системы - для отвода фильтрата;
- наличие кольцевого канала и кольцевого вала высотой не менее 2 м;
- формирование специальных карт-испарителей с целью предотвращения попадания ливневых и талых вод с участков захоронения токсичных отходов на окружающую территорию;
- гидроизоляция дна и стен ложа уплотненными глинистыми, грунто-битумно-бетонными, асфальтобетонными, асфальтополимербетонными для предотвращения попадания загрязнений в водоносный горизонт.

На все отходы, ввозимые на полигон, предоставляется паспорт опасности отходов, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ 17.9.0.5-2001 «Обращение с отходами. Паспорт опасности отходов».

Захоронение отходов на объекте осуществляется с учетом: классов опасности, агрегатного состояния, водорастворимости, класса опасности веществ и их компонентов.

Захоронение отходов **I класса опасности**, содержащих **водорастворимые вещества**, производят в котлованах в контейнерной упаковке, в стальных баллонах с двойным контролем на герметичность до и после их заполнения, помещаемых в бетонный короб. Заполненные отходами котлованы изолируются слоем грунта и покрываются водонепроницаемым покрытием.

При захоронении отходов, содержащих **слаборастворимые вещества I класса опасности** предусматриваются меры по гидроизоляции стен и дна котлованов с обеспечением коэффициента фильтрации не более 10<sup>-6</sup> см/с.

Твердые пастообразные отходы, содержащие **растворимые вещества II-III классов опасности** нерастворимые в воде, аккумулируются в котлованах с гидроизоляцией дна и боковых стен. Захоронение **твердых и пылевидных отходов**, содержащих отходы **II-III классов опасности, нерастворимые в воде**, осуществляют в котлованах с уплотненным грунтом с коэффициентом фильтрации не более 10<sup>-6</sup> см/с. **Твердые отходы IV класса опасности** складировать на специальной карте с послойным уплотнением. Эти отходы могут использоваться в качестве изолирующего материала.

**Отходы производства и потребления III- IV классов опасности** разрешается складировать совместно с твердыми коммунальными отходами (далее – ТКО) в соотношении не более 30% от массы ТКО при содержании в их водной вытяжке химических веществ, комплексное воздействие которых по уровню потребления кислорода (БПК<sub>20</sub> и ХПК) не превышает 3400-5000 мг/дм<sup>3</sup> O<sub>2</sub>, что соответствует фильтрату ТКО.

Без лимитного ограничения на полигоны принимаются и используются в качестве изолирующего промежуточного слоя **отходы IV класса опасности с однородной структурой и размером фракций до 250 мм** при условии сохранения в фильтрате уровня биохимического потребления кислорода (БПК<sub>20</sub>) и ХПК не более 300 мг/дм<sup>3</sup> O<sub>2</sub>.

**Промышленные отходы** для совместного захоронения с **ТКО**, не должны быть взрывоопасными, самовозгораемыми или имеющими влажность более 85%.

Применение традиционных технологий переработки сырья при которых образуются разнообразные группы отходов, предусматривающих последующие очистку отходящих газов, сточных вод, утилизацию твердых и захоронение опасных отходов, крайне неэффективно с эколого-экономической точки зрения. Доказательством в пользу этого является высокая стоимость экологизации производства в объеме до 20-40% суммарных капиталовложений при одновременных затратах на обезвреживание и переработку отходов до 8-10% от себестоимости

производимой продукции. В виду этого возникает необходимость внедрения в производство принципиально нового подхода к оптимизации промышленного производства за счет внедрения альтернативных технологий.

### **9.8 Альтернативные технологии по обращению с отходами.**

Альтернативные технологии основаны на принципе цикличности материальных потоков, позволяющих внедрять «безотходные технологии», при которых отходы жизнедеятельности одного производства используются другим или их системой, что позволяет осуществлять замкнутый биохимический круговорот веществ внутри производства товаров и услуг.

Идея многократного, циклического, экономного использования материальных ресурсов активно реализуется во многих развитых странах. В частности в США, ФРГ и Японии уровень повторного использования таких экологически опасных металлов, как свинец, медь, никель достигла 65, 40 и 40% соответственно.

В этом отношении аналогичные показатели для Беларуси на много ниже. Кроме того, нерационально используются в нашей стране и лесные ресурсы. Из каждых 1000 кубометров древесины в республике производится лишь 37,3 т бумаги, в то время как в Швеции - 129 т, в США - 137 т, а в Финляндии - 164 т.

Цикличное использование материальных ресурсов исключительно важно в плане сохранения или продления времени использования исчерпаемых запасов минеральных и топливно-энергетических ресурсов. Для их количественной оценки используют *индексы исчерпания ресурсов*, характеризующие расхождение имеющихся мировых запасов с учетом ежегодного прироста темпов их использования. Подсчитано, например, что если запасы металлов возрастут даже в 10 раз, то обеспеченность сырьем увеличится всего в 2,5-3 раза. Если же рециркуляция металлов достигнет 50%, тогда обеспеченность важнейшими металлами возрастает в 3-3,5 раза, а при 95-98% рециркуляции — в 5-7 раз. Поэтому экологи считают важнейшим резервом запасов сырья и топлива, является их вторичное использование. Следовательно, для оптимизации развития экономики, определяющего, устойчивое развитие любой страны, необходимы планомерное, целенаправленное повышение роли вторичных ресурсов и организация технологического круговорота веществ.

Перспективы экологической оптимизации экономики любой страны связаны с реализацией **концепции безотходного производства** (гл. 1), основные положения которой перечислены ниже.

Во-первых, ресурсы необходимо использовать в таком цикле, который включал бы как сферу промышленного производства, так и сферу потребления. В результате такого взаимодействия возникает замкнутым цикл на уровне промышленного региона или территориально-производственного комплекса, в границах которого необходимо найти потребителей отходов, производимых предприятиями.

Во-вторых, в производстве необходимо внедрить комплексный подход в использовании всех компонентов сырья и свести к минимуму объем нерациональных энергозатрат.

В-третьих, составной частью концепции безотходного производства является сохранение сложившегося экологического равновесия функционирования компонентов окружающей среды, при котором не оказывается отрицательное воздействие, как на среду обитания человека, так и на его здоровье. При этом, в настоящее время критерием качества окружающей среды являются предельно допустимые концентрации (ПДК) и рассчитанные на их основе предельно допустимые выбросы (ПДВ) и сбросы (ПДС).

Таким образом, внедрение «безотходных технологий» напрямую связано не только с оптимизацией техники и технологий, с реструктуризацией технической составляющей экономики а включает в себя и ряд организационно-управленческих мероприятий, законодательно-правовых и экономических, охватывающих как сферу производства, так и потребления продукции. При этом после утраты товарами потребления своих потребительских свойств, они вновь возвращаются в качестве вторичных ресурсов в производство или трансформируются в систему отходов, имеющих экологически безопасную форму.

Вполне очевидно, создание безотходных производств - длительный и дорогостоящий процесс. Поэтому в качестве промежуточного звена выступает **малоотходное производство**, при котором его отрицательное воздействие на природную среду не выходит за предельно допустимый уровень. При образовании утилизируемых отходов, они направляются в систему экологически безопасного хранения или захоронения.

Использование вторичных материальных ресурсов позволяет экономить сырье, энергию в сочетании с оздоровлением окружающей среды. В частности при производстве 1т алюминия из металлолома требуется всего 5% энергозатрат от уровня его выплавки из бокситов, причем переплав 1 т вторичного сырья экономит 4 т бокситов и 0,7 т кокса, снижая одновременно на 35 кг выбросы опасных фтористых соединений в атмосферу. Использование макулатуры при производстве 1 т бумаги и картона экономит 4,5 м<sup>3</sup> древесины, 200 м<sup>3</sup> воды и в два раза снижает затраты электроэнергии. К тому же в 2-3 раза уменьшается себестоимость продукции. Для изготовления того же количества бумаги требуется 15-16 взрослых деревьев. При использовании 1 млн. т макулатуры можно сэкономить 4 млн. м<sup>3</sup> первоклассной древесины.

О перспективности использования коммунальных отходов свидетельствуют такие цифры. Ежегодно в США формируется 150 млн. т мусора, в котором содержится около 11 млн. т железа, 900 тыс. т алюминия, 430 тыс. т других металлов (главным образом меди), 13 млн. т стекла, 60 млн.т бумаги и такое количество органических материалов, при сжигании которых получают объем тепловой энергии, эквивалентной сжиганию 20 млн. т нефти.

По мнению ряда ученых проблему обращения с отходами необходимо решать на месте их образования путем внедрения концепции **ресурсовозобновляющих технологий**, обеспечивающих минимизацию выбросов и выхода вторичных отходов. Эта концепция была впервые предложена в 60-х гг. XX в. Внедрение ее принципов позволило построить в г. Запорожье (Украина) первый в мире завод по переработке ТБО производительностью 1000-1500 т/сут. В настоящее время он оснащен узлами технотехимической, физико-химической и биотехнологической обработки отходов, в результате деятельности которых формируются вторичные ресурсы, применяющиеся в качестве биотоплива, металлолома, стройматериалов и т. д.

В развитие концепции предлагается создание экозащитных систем нового поколения - многопрофильных комбинатов «Экополигон», способных перерабатывать все виды отходов данного города и региона. При этом более 80% отходов превращаются во вторичные ресурсы и биосферные вещества, восстанавливается качество окружающей среды путем санирования (оздоровления) заполненных ранее полигонов и свалок. В основе данного варианта решения проблемы отходов положена теория трофо-энергетического функционирования экосистем и круговорота веществ (т. е. отходы одних служат продуктами питания и энергии для других), позволяющая: использовать экологически безопасные технологические процессы; исключить прямое сжигание органических веществ; обеспечить совместимость конечных продуктов с биосферой и их включение в круговорот веществ в природе; возместить издержки производства за счет использования вторичных ресурсов, отдельных видов промышленной продукции, платы за отходы, предотвращение ущерба окружающей среде.

1. Дьяконов, К.Н. Экологическое проектирование и экспертиза / Дьяконов К.Н., Дончева А.В. - Учебник – М.: Аспект – Пресс, 2006
2. Обращение с опасными отходами / Под ред. Гарина В.М., Соколовой Г.Н. - Учебное пособие – М.: ТК Велби, 2005
3. Прикладная экология / Под ред. Степановских А.С. / Учебник – М.: ЮНИТИ, 2005
4. Промышленная экология / Под ред. Денисова В.В. – учебное пособие для студентов вузов – М.: Март, 2007
5. Промышленно-транспортная экология / Под ред. Луканина В.М. – Учебник – М.: Высшая школа, 2003
6. Савенок, А.Ф. Основы экологии и рационального природопользования / Савенок А.Ф., Савенок Е.И. – учебное пособие – Мн.: Сэр-Вит, 2004
7. Радиационная экология / Под ред. Пивоварова Ю.П., Михалева В.П. – Учебное пособие – М.: Академия, 2004
8. Ясовеев, М.Г. / Экология рационального природопользования // Ясовеев М.Г., Кирвель И.И., Шершнев О.Б. и др. – Мн.: Право и экономика, 2006
9. Ясовеев, М.Г. / Геоэкология Беларуси // Ясовеев М.Г., Таранчук В.Б., Антипин Е.Б. и др. – Мн.: Право и экономика, 2006
10. Ясовеев, М.Г. / Экология урбанизированных территорий // Ясовеев М.Г., Стреха Н.Л., Пацыкайлик Д.А. – Учебное пособие – Мн.: БГПУ, 2007
11. Ясовеев, М.Г. / Основы геоэкологии // Ясовеев М.Г., Шевцова Н.С. и др. – Учебное пособие – Мн.: БГПУ, 2008
12. Ясовеев, М.Г. / Геоэкологические исследования природных комплексов и геосистем // Ясовеев М.Г., Стреха Н.Л., Пацыкайлик Д.А. и др. – Учебное пособие – Мн.: БГПУ, 2008
13. Ясовеев, М.Г. / Экологический мониторинг и экологическая экспертиза // Ясовеев М.Г., Стреха Н.Л., Какарека Э.В. и др. – Учебное пособие – Мн.: БГПУ, 2009

#### Дополнительная

1. Дончева, А.В. Экологическое проектирование и экспертиза: практика / Дончева А.В. – Учебное пособие для студентов – М.: Аспект-Пресс, 2006
2. Моисеев, Н.Н. Судьба цивилизации / Моисеев Н.Н. – М.: МГУ, 1995
3. Чырвоная кніга Рэспублікі Беларусь – Мн., 2007
4. Хван, Г.А. Промышленная экология / Хван Г.А. – Учебное пособие – Ростов-на-Дону: Феникс, 2003

1. Ясовеев Марат Гумерович – заведующий кафедрой экономической географии и охраны природы БГПУ, доктор геолого-минералогических наук, профессор. Р.т. 200-91-98, м.т. 633-87-52
2. Какарека Элеонора Викторовна – преподаватель кафедры экономической географии и охраны природы БГПУ. Р.т. 200-91-98, м.т. 621-82-79
3. Шевцова Наталья Сергеевна – доцент кафедры экономической географии и охраны природы БГПУ, кандидат географических наук. Р.т. 200-91-98
4. Шершнев Олег Владимирович – доцент кафедры географии ГГУ, кандидат географических наук.

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ

Введение	4
Глава 1. Предмет промышленной экологии, исторические корни науки	6
1.1. Предмет промышленной экологии	6
1.2. Исторические корни науки	7
1.3. Стратегии мирового развития с учетом экологических ограничений	11
1.4. Цивилизационная революция XXI века	17
Глава 2. Экологические проблемы топливно-энергетического комплекса и пути их решения	25
2.1. Природное топливо	25
2.2. Искусственное топливо	26
2.3. Альтернативное углесодержащее топливо	31
2.4. Теплоэнергетика и ее воздействие на природную среду	34
2.5. Гидроэнергетика и ее воздействие на природную среду	39
Глава 3. Радиационная экология	42
3.1. Ядерная энергетика и экология	42
3.2. Радиационный экологический контроль	43
3.3. Территории повышенной радиоактивной загрязненности среды от проведения ядерных взрывов	52
3.4. Особенности радиоэкологического загрязнения	55
3.5. Ядерная энергетика и ее воздействие на природную среду	58
Глава 4. Альтернативная природосберегающая энергетика	65
4.1. Альтернативные источники энергии	65
4.2. Использование солнечной энергии	66
4.3. Энергия океанов и морей	71
4.4. Геотермальная энергетика	74
4.5. Ветроэнергетика	74
4.6. Биоэнергетика	75
4.7. Водородная энергетика	78
4.8. Использование альтернативных источников энергии в Беларуси	80
Глава 5. Транспортная экология	91
5.1. Структура и виды транспорта	91
5.2. Экологическое воздействие транспорта на природную среду и человека	92
5.3. Сокращение выбросов автотранспорта, работающего на углеводородном топливе	97
5.4. Новые виды топлива и транспорта	103
Глава 6. Экология горнодобывающей промышленности	109
6.1. Природный горно-промышленный комплекс – объект изучения горной геологии	109
6.2. Воздействие горного производства на окружающую среду	110

6.3. Охрана воздушного бассейна в горнодобывающей промышленности	113
6.4. Влияние горного производства на гидросферу	118
6.5. Охрана водного бассейна в горном производстве	123
6.6. Влияние горного производства на природный ландшафт	127
6.7. Безотходное горное производство	131
Глава 7. Экология основных отраслей промышленности	135
7.1. Источники загрязнения природной среды в промышленности	135
7.2. Черная и цветная металлургия	138
7.3. Химическая и нефтехимическая промышленность	141
7.4. Машиностроительная промышленность	144
7.5. Промышленность строительных материалов	146
7.6. Проблемы природопользования в сельском хозяйстве	148
7.7. Экологизация промышленного производства	153
Глава 8. Системы и методы очистки сточных вод, выбросов в атмосферу, мелиорации загрязненных почв и реабилитации природных ландшафтов	155
8.1. Основные пути и методы очистки сточных вод	155
8.2. Экологически безопасные методы очистки промстоков	163
8.3. Очистка выбросов в атмосферу	168
8.4. Реабилитация природных ландшафтов и нарушенных земель	182
Глава 9. Порядок обращения с отходами	196
9.1. Виды отходов и объемы их образования	196
9.2. Обращение с отходами	198
9.3. Нормирование и нормативы образования, хранения и захоронения отходов	206
9.4. Формы учета и инвентаризации отходов	211
9.5. Объекты размещения твердых отходов	212
9.6. Обращение с твердыми отходами	215
9.7. Обращение с опасными отходами	220
9.8. Альтернативные технологии по обращению с отходами	231
Литература	234
Сведения об авторах	235
Содержание	236