

А.И. Фирсов, А.Ф. Борисов

# **Экология техносферы**

Нижний Новгород

2013

Минобрнауки России

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования

«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

А.И. Фирсов, А.Ф. Борисов

## Экология техносферы

Утверждено редакционно-издательским советом  
университета в качестве учебного пособия

Нижегород

ННГАСУ

2013

ББК 38.93

Ф62

Фирсов А.И. Экология техносферы [Текст]: учебное пособие для вузов /А. И. Фирсов, А. Ф. Борисов; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2013. – 94 с.

Изложены результаты техногенных воздействий на важнейшие компоненты биосферы, сопровождающие многочисленные производственные процессы, в том числе добычу сырья, производство строительных материалов. Приведены основные направления защиты атмосферы от загрязнения оксидами серы, азота, газообразными органическими веществами, рассмотрены перспективы использования экозащитной техники для снижения загрязнения, истощения водных объектов, почвенного слоя.

Учебное пособие предназначено для студентов общетехнических специальностей, преподавателей строительных вузов, аспирантов, специалистов экологических служб предприятий.

ISBN

©А.И. Фирсов, 2013

©А.Ф. Борисов, 2013

©ННГАСУ, 2013

## Содержание

Введение.....	4
1. Основы общей экологии.....	6
1.1. Важнейшие этапы формирования экологических знаний .....	6
1.2. Основы учения о биосфере, роль фотосинтеза .....	8
1.3. Современные направления развития экологии .....	14
1.4. Экологические проблемы техносферы.....	16
2. Техногенные проблемы атмосферы.....	20
2.1. Антропогенные воздействия на биосферу.....	20
2.2. Влияние загрязнений на тропосферу.....	23
2.3. Трансграничный перенос и рассеивание выбросов .....	27
2.4. Снижение поступлений пыли, аэрозолей, оксидов углерода ..	33
2.5. Защита атмосферы от оксидов серы.....	36
2.6. Снижение в выбросах азотсодержащих оксидов .....	39
2.7. Обеспечение защиты озонового слоя.....	42
2.8. Очистка выбросов от органических веществ .....	45
3. Защита водных экосистем от критических техногенных нагрузок ..	49
3.1. Современное состояние поверхностных вод.....	49
3.2. Организационно-техническое обеспечение рационального водопользования .....	55
3.3. Экозащитная техника водных объектов.....	60
4. Техногенное воздействие на литосферу .....	65
4.1. Виды техногенных нагрузок .....	65
4.2. Защита почв от истощения, загрязнения.....	67
4.3. Утилизация промышленных отходов.....	74
4.4. Обезвреживание, захоронение токсичных отходов.....	78
4.5. Рекультивация нарушенных земель при строительстве.....	82
4.6. Малоотходные и безотходные технологии.....	83
5. Энергетические загрязнения биосферы.....	86
5.1. Роль шума, вибрации в техносфере.....	86
5.2. Воздействие ионизирующих излучений .....	88
5.3. Техногенные изменения околоземного пространства.....	89
Заключение .....	92
Предметный указатель.....	93

## Введение

Основы экологических знаний, которые необходимо усвоить при завершении обучения по строительным специальностям, в доступной форме и весьма подробно изложены в ряде учебных пособий, опубликованных в 2000 – 2012 гг. Достаточно упомянуть пособия под общей редакцией А. И. Ажгиревича, учебники В. И. Вронского, В. И. Коробкина, А. Д. Потапова, А. С. Степановских, Л. И. Цветковой и др.

Современное высшее профессиональное образование предусматривает не только изучение и чёткое понимание процессов, происходящих в биосфере вследствие интенсивной производственной деятельности, но и знание, применение способов, позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду. Современные знания и опыт их практической реализации частично излагаются названными авторами, но не адаптированы для освоения учебной дисциплины «Экология техносферы».

Известно, что негативное воздействие на биосферу оказывают газообразные, жидкие, твёрдые отходы промышленных, в том числе строительных предприятий. Значительные выделения пыли, газовых выбросов при подготовке строительного сырья, производстве, например кровельных, керамических, пластмассовых изделий, требуют применения определённых методов для снижения их концентраций. В промышленных и поверхностных сточных водах строительных предприятий часто присутствуют взвешенные вещества, нефтепродукты. Это вызывает необходимость осуществлять их очистку перед поступлением в водные объекты с использованием типовых или нестандартных сооружений. Утилизация, обезвреживание высокотоксичных жидких отходов требуют использования специфических технологий. Профессиональная подготовка специалиста строительного вуза без знания основных видов природоохранных технологий будет неполной.

Данное учебное пособие имеет цель способствовать более полному усвоению полученных ранее экологических знаний, ознакомить с основными способами защиты биосферы от критических техногенных нагрузок,

возникающих в основных и вспомогательных производствах строительных предприятий.

Пособие рассчитано на студентов общетехнических специальностей, отдельные разделы могут быть полезными преподавателям, аспирантам строительных вузов, специалистам государственных и производственных экологических служб.

## 1. Основы общей экологии

### 1.1. Важнейшие этапы формирования экологических знаний

*В современном понимании экология – наука, изучающая **формирование, взаимодействие** биологических систем всех уровней с окружающей средой.*

Греч. *экос* – учение, *логос* – дом. Термин и общее определение экологии ввёл немецкий биолог Эрнст Геккель в 1866 г. в научном труде «Всеобщая морфология организмов».

Имеет как наука глубокие корни: Аристотель (384–322 гг. до н.э., Греция) говорил о взаимосвязи всего происходящего на Земле, привёл описание свыше 500 видов животных и расположил их от более простых к более сложным. Плиний Старший (79–23 гг. до н.э.), позднее Р. Бойль (1627–1691 гг.) и др. занимались значением среды обитания в жизни организмов. Карл Линней (1707–1778 гг.), выдающийся шведский учёный, создал классификацию – систему органического мира, включающую всех представителей флоры и фауны известных на тот период. Первые положения эволюционной теории до Ч. Дарвина излагал Ж.-Б. Ламарк.

Первые природоохранные акты на Руси опубликованы в IX – XII веках (свод законов Ярослава Мудрого «Русская правда» устанавливал правила охраны охотничьих угодий). В Англии король Эдуард в XIII веке издаёт эдикт, запрещающий использование каменного угля для отопления жилищ в Лондоне. Пётр I издал более 60 указов, направленных на охрану, рациональное использование и восстановление лесов, запрещение браконьерских способов ловли рыбы и др.

Формирование экологии как науки стало возможным после накопления достаточных знаний о многообразии живых организмов на Земле, особенностях их образа жизни в различных условиях. При этом стало очевидным, что строение, функционирование, развитие живых существ, их взаимоотношения со средой обитания подчинены определённым закономерностям, которые необходимо чётко знать, изучать и учитывать в производственной деятельности.

Наука в своём развитии прошла три этапа:

1-й – *начало XIX в.*: накопительный этап знаний. В этот период К. Линней, Ж.-Б. Ламарк (1744–1829 гг.) и Т. Мальтус (1766–1834 гг.) *впервые* предупреждали о возможностях негативного влияния человека на окружающую среду;

2-й – *окончание XIX в.*: формируется как самостоятельная наука. Публикуются труды Ч. Дарвина (1809–1882 гг.), Э. Геккеля (1834–1919 гг.). Многочисленные научные экологические исследования рассматриваются к 1866 г. как результаты отдельной самостоятельной науки, имеющей в качестве первоначальной основы сложившиеся биологические знания;

3-й – *середина 50-х гг. XX в.*: экология как наука полностью сформировалась, используя важнейшие открытия биологии, химии, физики, географии, социологии, экономики, теории культуры и др.

Наряду с зарубежными учёными, в формирование молодой науки значительный вклад внесли русские учёные К. Ф. Рулье, Н. А. Северцов, В. В. Докучаев, К. А. Тимирязев, Н. И. Вавилов, В. Р. Вильямс, В. И. Вернадский, во второй половине XX в. – А. М. Гиляров, Н. Н. Моисеев, А. В. Яблоков, И. А. Израэль, В. И. Данилов-Данильян и др.

**Докучаев В. В.** (1846–1903 гг.) – почвовед, генетик, длительное время изучал структуру речных долин, донные отложения рек России. Считал гидросферу важнейшим элементом биосферы, а почвенный слой – особой естественно-исторической составляющей биосферы, формирующейся в течение столетий под действием абиотических, биотических факторов.

Изучал качество земель Нижегородской губернии, составленные почвенные карты с учётом разработанной им научной классификации находят применение и в настоящее время.

**Вернадский В. И.** (1863–1945 гг.) – геохимик, ученик В. В. Докучаева. В основном труде «Биосфера», в других работах заложил основы учения о биосфере, её эволюции, роли человека в этом процессе, обосновал перспективу перехода к ноосфере. Учение о биосфере включает ряд положений, которые кратко рассмотрены ниже.

**Тимирязев К. А.** (1843–1920 гг.) – ботаник, изучал основы фотосинтеза растениями. В научном труде «Жизнь растений» и других публикациях показал, что ассимиляция диоксида углерода происходит при участии солнечной энергии. Открыл процесс светового насыщения растений. Обосновал важную роль в эволюционных процессах на Земле представителей живой и неживой природы.

**Вавилов Н. И.** (1887–1943 гг.) – растениевод, генетик, географ, основоположник современной селекции растений, выявил семь мировых центров происхождения важнейших видов флоры Земли и пути их миграции. Автор учения об иммунитете растений, роли наследственности, сформулировал закон гомологических рядов растений. Обосновал понятие биологического вида как обособленной, сложной морфо-физиологической системы, связанной в генезисе с определённой средой обитания. Впервые рассматривал флору Земли как единое целое, восприимчивое к направленному воздействию человека в форме селекции растений для улучшения их иммунной системы.

## 1.2. Основы учения о биосфере, роль фотосинтеза

Планета Земля обитаема благодаря биосфере, эволюционное развитие которой в соответствии с законами материального мира происходило в течение миллионов лет. Однако интенсивное развитие промышленного, сельскохозяйственного производства сопровождалось активным вмешательством человека в протекающие естественные процессы, что привело к нарушениям их свойств, изменениям важнейших экологических характеристик. Иначе говоря, в период становления и развития цивилизации произошло формирование техносферы.

*Техносфера*, согласно определению российских учёных-экологов Н. Ф. Реймерса и А. В. Яблокова, это среда обитания, возникшая в результате прямого или косвенного воздействия людей и технических средств на природную среду с целью её наилучшего соответствия социально-экономическим потребностям. Справедлива также более конкретная формулировка: *техносфера* – часть географической оболочки Земли, находящаяся под влиянием технических устройств и средств, созданных современной цивилизацией, на которой расположены населённые пункты, фабрики, заводы, дороги, нефтегазопроводы, системы связи, электростанции, ирригационные и дренажные сооружения, сельхозугодья и т.д. В более узком трактовании *техносфера* – практически замкнутая регионально-глобальная технологическая схема утилизации и реутилизации вовлечённых в хозяйственную деятельность природных ресурсов, рассчитанная на изоляцию хозяйственно-природных циклов от природного обмена веществ и потока энергии.

На начальном этапе биосфера (экосфера), согласно научным трудам

В. И. Вернадского, формировалась в результате сочетания ряда абиотических факторов и в первую очередь за счёт:

- наличия земного притяжения (гравитационного поля Земли);
- проникновения космических лучей;
- образования необходимого количества кислорода, диоксида углерода в атмосфере;
- воздействия коротких электромагнитных волн, ультрафиолетового излучения;
- создания приемлемого уровня температур для функционирования живых организмов.

Она имеет характерные только для неё особые свойства:

1. Биосфера – *централизованная* система, в которой центром являются живые организмы (живое вещество).

Впервые это было доказано В. И. Вернадским. В главном научном труде «Биосфера» (1926 г.) изложены этапы её эволюции, роль человека в этом процессе, обосновывается необходимость бережного отношения к окружающей среде.

2. Биосфера – *открытая система* со своим «ВХОДОМ», «ВЫХОДОМ».

«Вход» – постоянный приток солнечной энергии, а также тепла, поступающего из глубин Земли. «Выход» – избыток тепловой энергии биосферы в виде инфракрасного излучения; рассеивается в космическом пространстве, подземных горизонтах.

3. Биосфера – *саморегулирующаяся система*.

Она способна противостоять определённым воздействиям, нарушающим её состояние, способна восстанавливаться, возвращаться в первоначальное состояние, т.е. имеет свойство *гомеостаза* – сопротивляться воздействиям, сохраняться.

4. Биосфера – *глобальная многоэлементная система*.

Для неё характерно наличие значительного количества *биотопов* т.е. однородных в экологическом отношении участков или пространств земной поверхности, занятых одним *биоценозом* – определённой совокупностью живых организмов. Биоценозы, в свою очередь, существенно различаются характерными для них видовыми признаками. Они являются неотъемлемой частью *биома* – совокупности организмов и среды обитания, характерных для крупномасштабных ландшафтно-географических зон.

5. Биосфера *обеспечивает круговорот* веществ.

Постоянные круговороты воды, азота, фосфора, серы, других элементов приводят к их неисчерпаемости, непрерывности процессов в биосфере. Круговорот воды – важнейший

общепланетарный процесс, необходимый для жизни земных организмов. Под действием солнечной радиации, перемещения воздушных масс с поверхности Мирового океана ежегодно испаряется около 450 тыс. км<sup>3</sup>, а с поверхности суши – 72 тыс. км<sup>3</sup> воды. В виде осадков возвращается примерно 440 тыс. км<sup>3</sup> в водные объекты и 109 тыс. км<sup>3</sup> – на сушу. Выпадающие осадки, сформировавшиеся временные или постоянные речные стоки способствуют разрушению минеральных горных и других пород с выделением биогенных веществ, обеспечивая взаимодействие растений, животных с неживой материей. Одновременно имеет место вынос питательных веществ из почвенного слоя в водные объекты, где они используются для жизнедеятельности гидробионтов.

Количество воды, входящей в годовую продукцию фотосинтезирующих организмов, составляет более 380 млрд т. При этом лишь малая часть воды, проходящая через растения, разлагается в результате фотолиза на кислород и водород. Первый выделяется в атмосферу, а второй включается в состав синтезируемых органических веществ. Значительная часть воды растениями расходуется на *транспирацию* её в атмосферу, поглощая из почвы и испаряя через поверхность листьев, наземной части растений.

Более сложные биологические, химические процессы имеют место при круговороте азота, фосфора, серы. Эти вещества необходимы для жизнедеятельности растений, фотосинтеза биомассы, накопления в ней энергии. Однако их круговороты нарушаются, например при внесении на сельскохозяйственные поля большого количества минеральных удобрений, частично за счёт строительства искусственных водохранилищ на равнинных реках, других видов деятельности человека. В конечном итоге это может привести к коллапсу биосферы и соответственно всей цивилизации.

Биосфера испытывают определенный прессинг за счёт антропогенной деятельности: масса *центрального* компонента – живого вещества – интенсивно сокращается, процесс его восстановления отстаёт от потребления. Это наглядно иллюстрирует ситуация с крупнейшими, экологически важными лесными массивами Амазонии и Сибири.

Вследствие открытости экосферы, в неё поступает огромное количество веществ. Способность её к саморегулированию находится под угрозой: *ассимилирующие способности*, т.е. поглощение, дезактивация, рассеивание поступающих в биосферу вредных веществ не бесконечны. Имевшаяся на начальном этапе развития цивилизации глобальная многоэлементная система со значительным биоразнообразием нарушена: по данным В. А. Данилова-Данильяна, потеряно около 75 % экосистем.

Важными *компонентами* биосферы, согласно фундаментальным трудам В. И. Вернадского, являются:

– *живое вещество*, т. е. биомасса живых организмов, характеризуется высоким разнообразием, улавливает и преобразует лучистую энергию Солнца при фотосинтезе.

*Живое вещество* – ничтожно тонкий слой в общей массе геосфер Земли, его масса около 2 420 млрд т, что примерно в 2 000 раз меньше массы атмосферы ( $5,15 \cdot 10^{15}$  т) – лёгкой оболочки Земли. Присутствует практически везде, за исключением кратеров действующих вулканов. Согласно учению В. И. Вернадского, живое вещество – *основной движущий фактор развития процессов в биосфере*, формирует биохимическую энергию вещества, участвует в малом (биогеохимическом) круговороте веществ;

– *биогенное вещество* – продукты жизнедеятельности и последующего преобразования отмерших живых организмов под действием абиотических факторов (каменный уголь, нефть, природный газ, сланцы, торф, известняки, мрамор и т. п.);

– *биокозное вещество* – продукты распада и переработки горных, осадочных пород живыми организмами (почва, ил, природная вода, часть осадочных карбонатов и др.);

– *косное вещество* – горные породы, минералы вулканического происхождения, космическая пыль, метеориты. Их существование, наличие на планете Земля не является продуктом жизнедеятельности организмов.

Биосфера Земли не может существовать без наличия кислорода, который поступает в неё за счёт *фотосинтеза*, производимого растениями. Этот процесс осуществляется при определённом уровне *инсоляции* – поступлении солнечной энергии на единицу площади и *ассимиляции* (поглощении, использовании) этой энергии растениями, представителями водной флоры, фауны.

Фотосинтез осуществляется продуцентами (автотрофами), с которых начинается «пастбищная» цепь. В ней участвуют продуценты, консументы 1 – 3 порядков, редуценты (представители бактерий, микроорганизмов). Детритная трофическая цепь начинается с детритофагов – мельчайших представителей животного мира в виде червей, жуков, личинок и т.п. Они и редуценты обеспечивают за счёт своей жизнедеятельности *диссимиляцию* (разложение,

окисление, *минерализацию*) отмершего органического вещества до неорганических веществ, которые используются при функционировании продуцентами. Третий вид трофических цепей – смешанные. В таких организмы, называемые *полифагами*, способны использовать несколько видов в качестве источника питания. Типичным представителем являются *эврифаги*: саранча, например, питается всеми видами растений.

Нарушение жизненно важного процесса фотосинтеза вследствие техногенных нагрузок на биосферу (снижение светопропускания атмосферой, отложения пыли, токсическое воздействие на растительность газообразных вредных веществ и т.п.) приводит к сокращению и нередко полному прекращению поступления кислорода, снижению (отсутствию) синтеза биомассы – питательных веществ для консументов.

Общее состояние процесса фотосинтеза можно характеризовать графически в виде пирамид: биомассы Ч. Элтона, передачи энергии Р. Линдермана (в ином переводе – Линдемана), численности. Они могут иметь «перевернутую» форму. При использовании пирамид энергии применяется *правило Р. Линдермана*, или правило 10 % – на каждый последующий трофический уровень передаётся не более 10 % энергии от имевшейся на предыдущем уровне.

Количество произведённой продуцентами биомассы, иначе говоря эффективность фотосинтеза, называют *валовой первичной продукцией*. Оставшаяся часть от осуществления жизненных функций продуцентов называется *чистой первичной продукцией*. На любой момент времени она выражается *наличной биомассой*, называемой также урожаем на корню.

Известно также, что, согласно *правилу 1 %*, доля возможного потребления чистой первичной продукции (на уровне консументов высших порядков) не превышает названной величины.

Скорость образования органического вещества за единицу времени называется *биологической продуктивностью*. Скорость накопления при фотосинтезе органического вещества – *валовая первичная продуктивность*, а

скорость накопления органического вещества в растительных тканях за вычетом части, которая была израсходована на жизнедеятельность растений, — *чистая первичная продуктивность*.

*Чистая продуктивность* сообщества — скорость накопления органического вещества, неизрасходованного консументами, т.е. чистая первичная продукция за вычетом части, которая была ими использована. Употребляя термин *удельная продуктивность*, имеют в виду отношение величины продукции, произведённой сообществом, к его средней биомассе за один и тот же промежуток времени. В то же время скорость образования продукции консументами учитывается как *вторичная продуктивность*.

Многочисленные экосистемы биосферы имеют определённый перечень видов, и в каждой из них свои популяции, которые обеспечивают своё существование, вступая в *межвидовые, внутривидовые* взаимоотношения, адаптируются к *неблагоприятным условиям* окружающей среды. При этом имеют место *симбиоз (мутуализм), конкуренция, нейтрализм, протокооперация, хищничество, паразитизм, комменсализм, аменсализм*.

Каждая *популяция*, вид имеют *статические* (структурные) и *динамические* характеристики.

К первым относятся численность, плотность, определенное количественное соотношение особей различного возраста, пола, размера, разных генотипов и их распределение в пространстве. Динамические включают рождаемость, смертность, скорость роста, убыль, способность к миграции, иммиграции и т. п.

Кроме того, для каждой характерен определённый *ареал* — часть земной поверхности, пространства, служащие средой обитания.

Величина ареала определяется *радиусом индивидуальной активности* отдельно взятой особи. В зависимости от ареала популяции подразделяются на *элементарные, экологические и географические* (рис. 1.1). Элементарная (микрораспространение) — совокупность особей, занимающих небольшой участок однородной площади. Экологическая формируется как совокупность элементарных популяций (лесная белка, в зависимости от приоритета деревьев именуется как сосновая, еловая, пихтовая, елово-пихтовая и т.д.). Географическая популяция — группа особей, населяющих территорию, пространство с географически однородными условиями окружающей среды обитания.

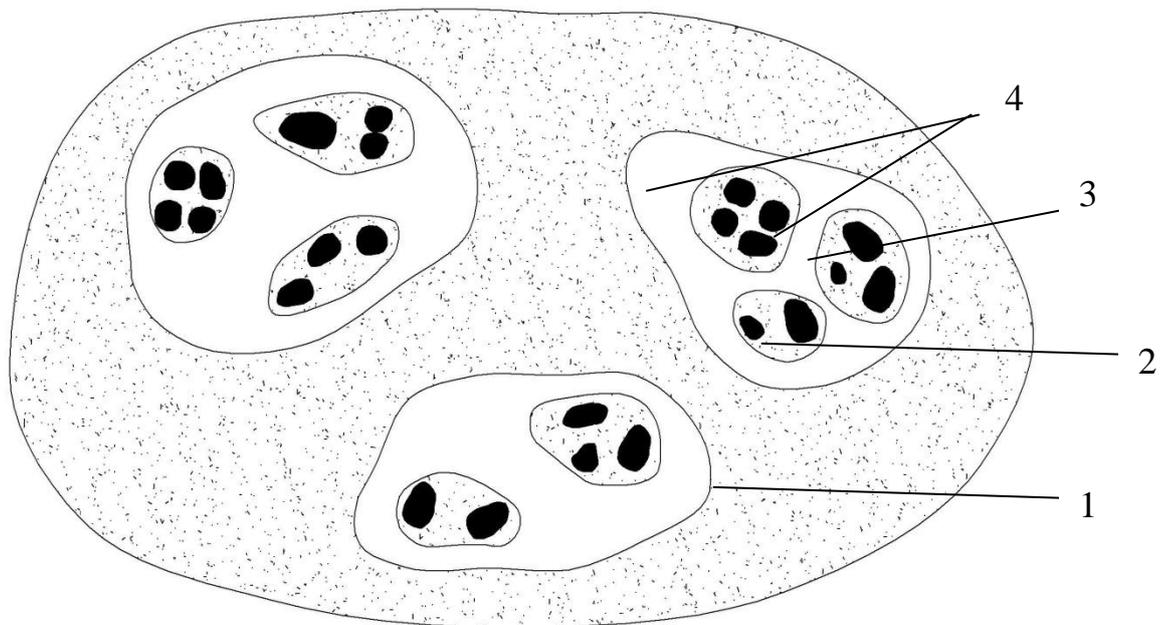


Рис. 1.1. Пространственное подразделение популяций:

1 – ареал вида; 2 – 4 – соответственно географическая, экологическая и элементарная популяции

### 1.3. Современные направления развития экологии

В настоящее время имеется ряд самостоятельных направлений развития экологических исследований:

*экология общая (биоэкология)* изучает наиболее общие закономерности *взаимодействий* организмов между собой и с окружающей средой; имеет собственные самостоятельные разделы, в том числе:

*аутэкология* (греч. *аут* – особь) изучает *взаимодействия* определённого биологического вида (особи, организма) с условиями среды обитания;

специальным разделом аутэкологии является *популяционная экология* (демэкология, греч. *демос* – народ). Она изучает структуру, динамику популяций, *взаимодействие*, отношения между организмами, относящимися к определённому виду и обитающими на одной территории;

*синэкология* (греч. *син* – сообщество), синоним *биоценология*, рассматривает сообщества растений, животных и микроорганизмов (биоценозы), отдельные виды популяций, *взаимоотношения* между ними, с неорганической средой обитания, а также их пищевые (трофические) цепи;

*биогеоценология* (биоценология) изучает *взаимодействие* живых организмов между собой и с абиотическими факторами;

*геоэкология* исследует экосистемы высоких (глобальных) иерархических уровней – до биосферы включительно (ландшафты, подземные горизонты, почвы, донные отложения, атмосферно-климатические процессы и т. п.);

*экология человека* (антропоэкология, часть социальной экологии) изучает *взаимодействие* человека как части биосферы, т.е. биосоциального существа с окружающей средой;

*социальная экология* изучает закономерности *взаимодействия* общества (социума) с окружающей средой и направления по её охране. Подобные исследования ведутся на стыке с такими науками, как социология, изучающая закономерности развития и функционирования общества, философия и др.;

*прикладная экология* изучает способы предотвращения разрушения биосферы и разрабатывает механизм, принципы рационального использования природных ресурсов.

Включает *промышленную (инженерную) экологию*, которая рассматривает *воздействие* различных отраслей (химической, медицинской, сельскохозяйственной, транспортной, *строительной* и др.) на окружающую среду и, наоборот, непосредственно условий внешней среды на функционирование предприятий;

*факториальная экология* рассматривает приспособленность видов к условиям среды обитания.

Планета Земля обитаема благодаря биосфере, которая функционирует в соответствии с законами материального мира. Однако интенсивное развитие промышленного, сельскохозяйственного производства сопровождается активным вмешательством человека в протекающие естественные процессы, что приводит к нарушениям свойств биосферы, изменениям её важнейших экологических характеристик.

#### 1.4. Экологические проблемы техносферы

Техносфера – значительная часть биосферы характеризующаяся тем, что естественные биологические процессы в ней в ряде случаев замещаются физическими и химическими воздействиями. Уровень последних непрерывно возрастал в течение второй половины XX в, что сопровождалось значительными нагрузками на окружающую среду и непосредственно на человека. Техносфера развивалась под действием следующих факторов:

– значительного роста численности населения, «демографического взрыва», одновременно сопровождавшегося увеличением количества крупных городов. Численность населения Земли к завершению прошедшего столетия составила более 6 млрд, т.е. увеличилась только за 30 – 40 лет на столько же, как и за весь предыдущий период развития цивилизации. При этом городское население в среднем составило свыше 60 %, что привело к значительным локальным нагрузкам на окружающую среду;

–интенсивного промышленного, сельскохозяйственного производства с целью удовлетворения потребностей как возросшего количества населения, так и вследствие увеличения его социально-экономических запросов, культурно-эстетических потребностей. Это привело к интенсивному использованию природных, энергетических (топливных) ресурсов. Получение тепловой, электрической энергии при сжигании органического топлива сопровождается, как известно, выделением оксидов различного происхождения, негативно влияющих, в первую очередь, на качественные характеристики атмосферного воздуха;

– повсеместного использования мобильных средств передвижения – автомобильного, железнодорожного, авиационного и других видов транспорта, которое привело к поступлению в окружающую среду значительных количеств оксидов углерода, азота, полициклических углеводородов. Из данных Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) при ООН следует, что в настоящее время автомобильный транспорт является основным загрязнителем в

таких мегаполисах, как Токио, Нью-Йорк, Лондон, Москва и др. Известно, что в атмосферном воздухе этих и подобных им городов нередко концентрация оксидов углерода, оксидов азота, летучих углеводородов соответственно в 50, 150, 2000 раз больше, чем в сельской местности.

Благодаря научно-технической революции существенно изменилась среда обитания человека, выросло благосостояние, уровень здравоохранения, образования, коренным образом поменялись условия труда. Одновременно произошедший в 100 раз рост промышленного, несколько меньше сельскохозяйственного производства, способствовали резкому снижению запасов добываемого сырья из подземных горизонтов, истощению, а в ряде регионов деградации плодородного почвенного слоя.

Наряду с этим, наблюдался постоянный рост выбросов загрязняющих веществ, вовлечение в хозяйственную деятельность возрастающего количества химических элементов. Из известных на текущий период 7 млн химических веществ применяется 60 тыс., которые частично поступают в биосферу Земли. По данным ВОЗ, в окружающей среде насчитывается примерно 50 тыс. веществ, которые практически не способны претерпевать каких-либо изменений под действием жизнедеятельности природных микро-, макроорганизмов, т.е. деструкторов.

Значительный рост численности населения способствовал интенсификации сельскохозяйственного производства. Для повышения плодородия почвенного слоя, борьбы с вредителями используются в больших количествах минеральные удобрения, пестициды, гербициды. На 1 га пахотных земель в середине 80-х гг. прошедшего столетия в среднем вносили 90 кг минеральных удобрений, а в США, ряде стран Европы соответственно 100 и 230 кг. Такие количества способствовали существенному загрязнению соединениями фосфора, азота (в первую очередь нитритами и нитратами), фтора, редкоземельными элементами не только почвенного слоя, но и поверхностных, грунтовых, подземных вод. По трофической цепи многие из указанных веществ способны поступать в организм человека, создавая предпосылки для определённых заболеваний.

Существенное воздействие на биосферу оказали проведённые испытания ядерного и других видов оружия в атмосфере Земли, в подземных горизонтах. Техногенные аварии на объектах атомной энергетики (Чернобыльская АЭС, Фукусима-1 и др.) привели к глобальным экологическим катастрофам, которые по своим масштабам несопоставимы с природными катаклизмами. Техногенные опасности, угрозы спонтанного возникновения чрезвычайных ситуаций – важнейшие проблемы существования цивилизации. Последствия в большинстве случаев трудно предсказуемы. Современное соотношение между природными и техногенными опасностями существенно изменилось в сторону увеличения последних.

Техносфера, созданная в процессе экстенсивной производственной деятельности человека, имеет целый комплекс экологических опасностей. Негативное воздействие их на окружающую среду, на здоровье населения можно существенно снизить за счёт рационального использования природных ресурсов, применения эффективных методов очистки газопылевых выбросов, сточных вод, реализации малоотходных, безотходных технологических процессов.

#### Контрольные вопросы

1. Дать определения науки «Экология», пояснить основные периоды её развития, сложившиеся самостоятельные направления исследований.
2. Изложить основы фундаментального учения В.И. Вернадского о биосфере.
3. Охарактеризовать особенности фотосинтеза, важнейшие трофические цепи, роль в их реализации естественных и техногенных воздействий.
4. Пояснить принцип построения пирамид биомассы, численности, энергии, их значение для характеристики экосистем, отдельных биоценозов.
5. Перечислить, охарактеризовать среды обитания живых организмов и влияние на них различных видов загрязняющих веществ.

#### Рекомендуемая литература

1. Цветкова, Л. И. Экология: учеб. для студентов высш. и сред. учеб. завед. по техн. спец. и направлениям /Л. И. Цветкова, М. И. Алексеев, Ф. В. Кармазинов и др.; под общ. ред. Л. И. Цветковой. – М.: АСВ;СПб: Химиздат, 2001. – 550 с.

2. Ажгиревич, А. И. Экология: учеб. пособие для студентов вузов /А. И. Ажгиревич, В. В. Гутенёв, И. А. Денисов и др., под общ. ред. А. И. Ажгиревича. – Ростов н/Д.: Издат. центр «МарТ», 2006. – 767 с.

3.Коробкин, В. И. Экология: учеб. для студентов вузов /В. И. Коробкин, Л. В. Передельский. – Ростов н/Д.: Феникс, 2004. – 576 с.

4 Безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие / под ред. А. И. Сидорова.–М.: КНОРУС, 2012. – 546 с.

5. Фирсов, А. И. Экология и строительное производство: учеб. для студентов вузов /А. И. Фирсов, А. Ф Борисов, П. В. Макаров. – Н.Новгород.: ННГАСУ, 2012. – 123 с.

## 2. Техногенные проблемы атмосферы

### 2.1. Антропогенные воздействия на биосферу

Формирование индустриального общества и его дальнейшее развитие сопровождается непрерывным ростом производства товарной продукции. При этом имеют место и практически постоянно увеличиваются нагрузки на важнейшие компоненты биосферы – атмосферу, гидросферу, литосферу.



Рис. 2.1. Результаты техногенного воздействия на окружающую среду

Из рис. 2.1 следует, что последствия техногенных воздействий разнообразны. Однако в конечном итоге все они приводят к изменениям в состоянии здоровья населения. По направленности они условно подразделяются на пять групп:

- антропогенное загрязнение биосферы;
- техническое преобразование, разрушение определённых экосистем;
- истощение невозобновляемых, активное использование возобновляемых природных ресурсов;

По данным Н. Ф. Реймерса, «люди искусственно и некомпенсированно снизили количество живого вещества Земли, видимо не менее чем на 30 %, и забирают в год не менее 20 % продукции всей биосферы»; в работах В. А. Данилова-Данильяна указано, что безвозвратно потеряно около 25 % экосистем;

– глобальные климатические изменения;

– нарушения эстетических характеристик местности, региона (орографические или *стацiально-деструкционное* изменение ландшафтов и экосистем в процессе природопользования, связанные с оптимизацией природы в интересах человека; *стация* – место обитания популяции).

*Антропогенные загрязнения* биосферы по происхождению могут быть физическими (*параметрическими* – изменяются качественные параметры окружающей среды), химическими (*ингредиентными* – вносятся химические вещества несвойственные для естественных биоценозов), *биологическими* (*биоценотическими* – воздействующими на состав, структуру популяций).

Рассматривая обеспечение безопасных условий труда в производственном процессе, принимают во внимание *антропогенные производственные факторы*, которые подразделяются на три группы:

– вредные – шум, вибрация, световые, радиоактивные излучения, электрические, магнитные поля и т.п.;

– опасные – приводят к травмам, резкому ухудшению состояния здоровья (химические вещества, пыль различного происхождения, из которых наиболее опасны свинцовая, асбестовая и др.);

– особо опасные, т.е. приводящие к авариям, взрывам, пожарам.

*Физические (параметрические) загрязнения* атмосферы иногда связаны с распределением в приземных слоях достаточно опасных вредных веществ, например, радионуклидов, выделяющихся при ядерных взрывах, создававших ранее очень высокую экологическую нагрузку в американском штате Невада, на российском острове Новая Земля. В основном физическое загрязнение атмосферы создаётся за счёт аэрозолей, пыли, сажи и других механических примесей. Поступление их связано, как известно, с естественными и антропогенными процессами. Первые - вулканическая деятельность, лесные пожары, землетрясения, морские штормы, ураганы, тайфуны, ветровая эрозия (дефляция), пыльные бури, метеоритные «дожди» и т.д. Нередко пыльные бури способны, например, из Сахары приносить в Европу огромные количества пыли, отмершие микроскопические органические вещества.

Естественные загрязнения менее опасны, т.к. биосфера к ним адаптировалась за длительный период эволюции. В то же время антропогенные загрязнения, сопровождающие производственную деятельность человека, более

опасны, т. к. в них часто присутствуют трудно окисляемые вещества. Вследствие этого существенно изменяются качественные характеристики окружающей среды. Так, например, выбросы производства строительных материалов часто содержат большие количества пыли, паров растворителей, лаков, красок и т.п. Общее количество выбросов вредных веществ только от цементных заводов достигает 273 тыс. т в год, т. е. более 40 % от всех поступлений отрасли. Основными ингредиентными загрязнениями при этом являются пыль, взвешенные вещества (54 % от суммарного выброса), а также оксид углерода (свыше 23 %). Обычно происходящие изменения в биосфере под действием определённых видов техногенных воздействий по сравнению с естественными обнаруживаются за более короткие промежутки времени и составляют 10–20 лет.

*Химические (ингредиентные) загрязнения* атмосферы возникают вследствие выбросов оксидов серы, азота, углерода, паров органических веществ, которые легко растворяются в воздухе, изменяют его качественные характеристики. *Биологические* компоненты в виде различных представителей микроорганизмов выделяются в атмосферу, например, при разложении органических веществ.

Техногенное воздействие приводит к определённой экологической нагрузке, которая способна выводить экосистему из равновесного состояния. Различают *допустимую и критическую экологическую нагрузки*. Первая не вызывает необратимых процессов, после прекращения её воздействия экосистема возвращается в первоначальное состояние. Критическая экологическая нагрузка – максимально приемлемое воздействие, превышение которого приводит к разрушению экосистемы (рис. 2.2)

Продуктивность ( $\eta, \%$ ) существенно зависит от величины нагрузки на экосистему, продолжительности её воздействия (рис. 2.3)

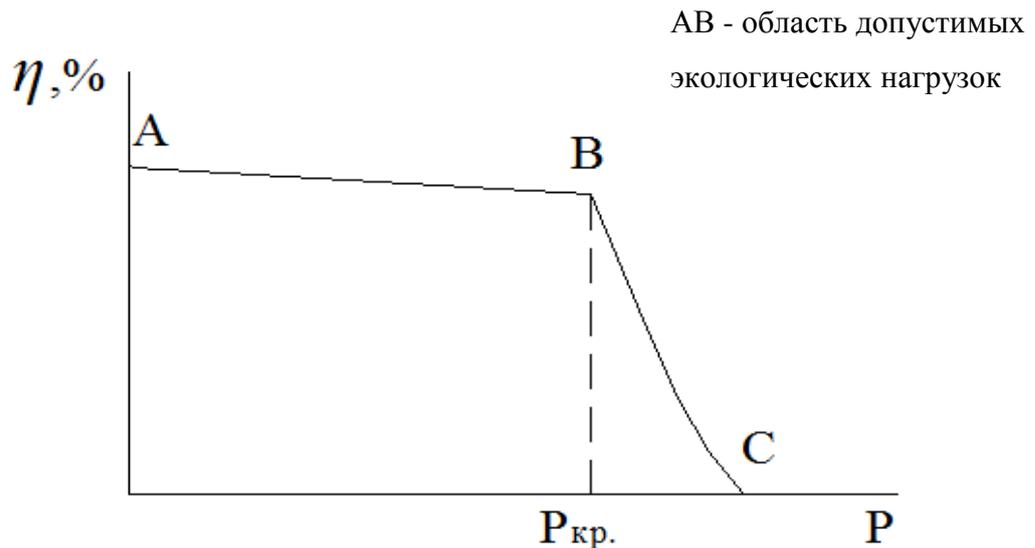


Рис.2.2. Продуктивность экологических систем при различных нагрузках:

$P$  – нагрузка (загрязнение, температура, влажность, УФИ, ЭМП, радиоактивное излучение и т.п.); АВ – область допустимых экологических нагрузок

## 2.2. Влияние загрязнений на тропосферу

Тропосфера, как основная часть *гомосферы*, имеет по высоте примерно одинаковое содержание основных газов: около 78 % от объёма составляет азот, 21 % – кислород (его в атмосфере в пределах  $1,5 \cdot 10^{15}$  т), остальное – аргон, неон, криптон и др. газы. *Гетеросфера* – верхний слой, разреженный, с непостоянными концентрациями названных газов; включает стратосферу, в которой с огромной скоростью перемещаются в горизонтальных направлениях воздушные массы, определяющие метеоусловия на планете.

Тропосфера, как часть наземно-воздушной среды, активно реагирует на естественные и техногенные воздействия. Химические загрязнения, поступаая с выбросами предприятий, способны в зоне рассеивания повлиять на качественные характеристики воздуха не только приземных, но и выше расположенных слоёв воздуха. В атмосфере они образуют сложные, опасные для живых организмов соединения с молекулярными ионами двухатомных газов кислорода и азота. Обусловлено это тем, что под действием лучистой

энергии Солнца – потока фотонов (квантов) в верхних слоях – происходит ионизация двухатомных молекул кислорода, азота и закиси азота.

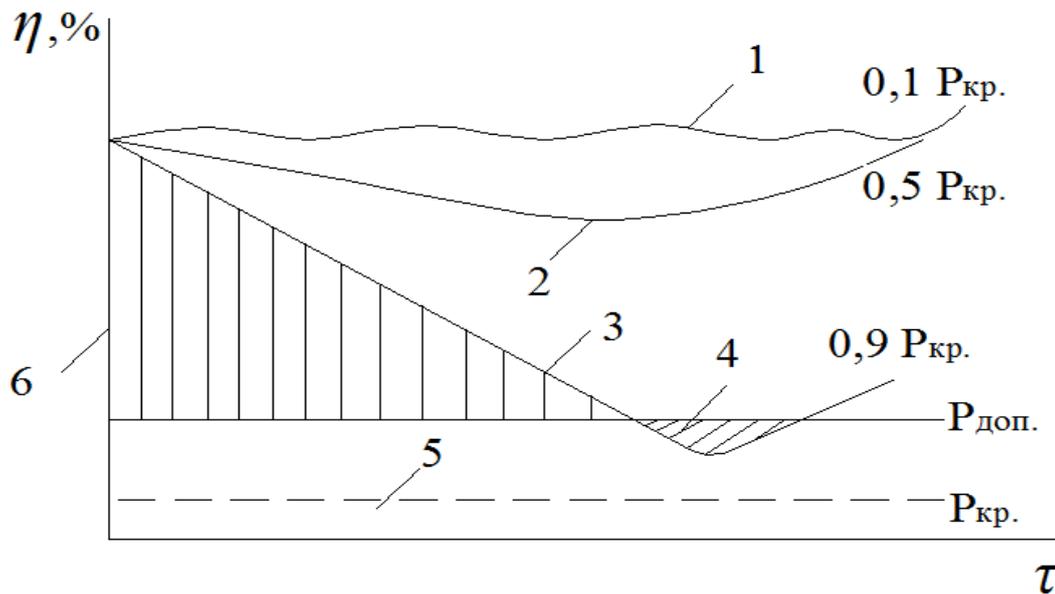


Рис.2.3. Влияние нагрузки на продуктивность экосистемы:

1 – флуктуационные изменения продуктивности при незначительной нагрузке; 2, 3 – соответственно при малой и критической нагрузках; 4 – зона существенных изменений в экосистеме; 5 – область критических нагрузок; 6 – зона экологического резерва экосистемы

Энергия ( $E$ ) каждого фотона описывается известным уравнением:

$$E = h\nu,$$

где  $h$  – постоянная Планка;

$\nu$  – частота излучения,  $\nu = 1/\mu$ , где  $\mu$  – длина волны.

$N_2 + h\nu = N_2^+ + e$  – для этого требуется энергия 1 495 кДж/моль;

$O_2 + h\nu = O_2^+ + e$  – необходима энергия 1 205 кДж/моль;

$O + h\nu = O^+ + e$  – при затратах энергии 1 303 кДж/моль;

$NO + h\nu = NO^+ + e$  – расходуется энергия 890 кДж/моль.

Образующиеся молекулярные ионы ( $N_2^+$ ,  $O_2^+$ ,  $O^+$ ,  $NO^+$ ) очень активны и могут вступать в реакции с газообразными вредными веществами, распределёнными в объёмах воздуха, образуя сложные соединения. Последние способны негативно влиять на приземные слои тропосферы, а в случае малой подвижности в них возможны высокие концентрации вредных веществ в

приземных слоях тропосферы. Это является одной из причин образования *смога*.

Наиболее распространены две разновидности смога. Так, присутствие в атмосфере высоких концентраций оксидов серы в сочетании с пылью, аэрозолями, вредными газами, парами воды и при наличии инверсии приводит к формированию *влажного смога лондонского типа*. Длительное вдыхание такого воздуха (потребность человека в чистом воздухе 5–10 л/мин, или 12–15 кг/сутки) вызывает приступы бронхиальной астмы, аллергию, удушье и т.п. Смог в г. Лондоне за период с 3 по 9 декабря 1952 г. привёл к гибели более 4 тыс. человек, одновременно до 10 тыс. жителей тяжело заболели. Подобные ситуации в г. Лондоне возникали ранее – 1873, 1882, 1891, а также в 1948 гг. В конце 1962 г. в г. Руре (Германия) за 3 дня погибли 156 чел.

*Лос-Анджелесский смог* (фотохимический) впервые наблюдался в 30-е годы XX в.; возникает обычно летом при интенсивной солнечной радиации в Нью-Йорке, Токио, Сеуле, в Афинах и других городах. Причина в том, что при безветрии происходят сложные фотохимические реакции с образованием высокотоксичных фотооксидантов (озона, органических перекисей, нитритов и др.), которые раздражают слизистые оболочки глаз, желудочно-кишечного тракта. В г. Токио в 1970 г. он вызвал отравление 10 тыс. человек, в 1971 г. – 28 тыс. В Афинах при смоге смертность увеличивается в 6 раз и более по сравнению с днями, имеющими относительно чистую атмосферу. Для РФ проблемными городами в этом отношении являются г. Кемерово, Ангарск, Новокузнецк, Медногорск и ряд других, расположенных в низинах, с минимальным проветриванием.

Сопутствующей причиной образования смога являются, как ранее отмечено, инверсионные процессы – аномальные явления в приземном слое тропосферы, сопровождающиеся повышением температуры с увеличением высоты от поверхности Земли. *Инверсия* может быть температурной (*а*) и радиационной (*б*).

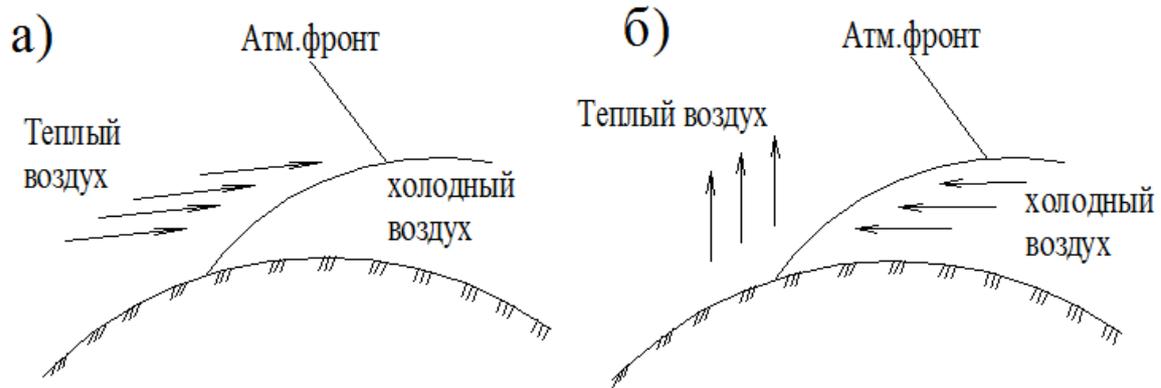


Рис. 2.4. Образование инверсий в приземных слоях атмосферы

В первом случае (рис.2.4) она возникает вследствие натекания теплого воздуха на расположенный внизу холодный воздух, во втором – образуется из-за резкого остывания поверхности Земли. Происходит интенсивный подъем тёплого воздуха на определённую высоту, а на смену ему в приземное пространство устремляется холодный воздух. Это практически исключает образование вертикальных конвективных потоков, и соответственно не обеспечивается рассеивание вредных веществ в верхних слоях атмосферы.

Смог образуется, как правило, при активном участии *аэрозолей* – взвешенных в газообразной среде частиц твёрдых или жидких веществ размером 1 – 5 мкм. Естественный аэрозоль – в виде облаков (пары воды малой концентрации), морской воздух, насыщенный минеральными солями, фитонциды, выделяемые растениями. Антропогенный – выхлопы двигателей внутреннего сгорания, содержащие сажу, полициклические углеводороды, свинец и др. В случае преобладания жидких частиц называется смог туманом, твёрдых – дымом.

Подразделяются аэрозоли на первичные, т.е. поступающие непосредственно из источников газопылевых выбросов, и вторичные, которые формируются в атмосфере. Также могут быть летучие, – способные переноситься на большие расстояния, и нелетучие. Устойчивые и тонко диспергированные летучие (кадмий, ртуть, сурьма, йод-131 и др.) накапливаются в низинах, фиордах и других пониженных местах рельефа.

Выявлена тенденция совместного накопления в твердых частицах аэрозоля устойчивых комбинаций *тяжёлых металлов* (ТМ), состоящих из свинца и олова, кобальта и никеля, стронция и фосфора и др. Пыль, сажа могут дополнительно сорбировать ТМ и радионуклиды. Оседая на почвенный слой, они загрязняют большие территории на значительном удалении от мест поступления в атмосферу. Сравнительно недавно установлено, что асбест в виде пыли достаточно токсичен, приводит к онкологическим заболеваниям дыхательных путей, кожных покровов. Это послужило основанием для ограничения его использования в строительстве.

Продолжительность жизни отдельных аэрозолей в атмосфере составляет несколько минут, других – месяцы. Зависит она от химической устойчивости, присутствия в воздухе реакционно способных компонентов, в том числе озона. Аэрозоли, газы, поступающие от промышленных объектов, имеют, как правило, высокую реакционную способность, негативно влияют на здоровье человека. Так, пластмассовая пыль, растворители, лаки, краски на органической основе могут вызвать хронические отравления. Возникают нейропсихические отклонения, которые сопровождаются повышенной утомляемостью, ослаблением внимания, апатией, бессонницей и т.п.

Препятствием для распространения аэрозолей, других вредных веществ в атмосфере могут служить лесные массивы, а также глубинные геологические разломы большой протяжённости (например, Байкальский риф). Последние контролируют также физические поля, ионные потоки Земли, создавая тем самым преграды на путях перемещения воздушных масс.

### 2.3. Трансграничный перенос и рассеивание выбросов

Наличие в верхних слоях атмосферы устойчивых перемещений воздушных масс приводит к переносу загрязняющих веществ на большие расстояния. Так, например, в Северной Америке постоянные воздушные потоки с юга на север привели в конце XIX – начале XX в. к интенсивному загрязнению территорий Канады серноокислотными газовыми выбросами США. При этом существенно

пострадали из-за выпадения кислотных осадков Великие американские озёра, лесные массивы Канады. Деграция лесов Финляндии, Швеции, Норвегии в этот же период произошла в Западной Европе из-за наличия устойчивого воздушного течения с юго-востока на северо-запад. Оно же способствовало поступлению и рассеиванию в названных европейских странах радиоактивного облака, возникшего 26 апреля 1986 г. в результате аварийного разрушения третьего блока Чернобыльской АЭС. Существующее воздушное течение с запада на восток создаёт негативные изменения в атмосфере Арктики.

Трансграничные переносы вредных газообразных веществ, аэрозолей способствуют устойчивым, длительным загрязнениям атмосферы, а затем всей окружающей среды значительных территорий на больших расстояниях от мест их выделения. Это приводит к минимизации результатов ряда государств по охране окружающей среды. Для исключения подобных ситуаций на уровне ООН принят ряд документов, предусматривающих нормализацию сложившейся ситуации. Так, Повестка дня на XXI век, одобренная конференцией ООН в Рио-де-Жанейро (1992 г.), поставила конкретную задачу перед всеми государствами существенно снизить поступления газопылевых выбросов, содержащих оксиды серы.

Наряду с оксидами серы, азота, углерода, в атмосферу поступают в виде парогазовой фазы аэрозоли ТМ таких, как свинец, цинк, медь, кадмий и др. Они способны к трансграничному переносу в составе воздушного потока на высоте до 2 км над поверхностью Земли. Основная масса ТМ накапливается в приземном слое высотой около 0,5 – 1,0 км. Перенос осуществляется как локально-региональными, так и трансконтинентальными (глобальными) перемещениями воздушных масс. На загрязнённость потока влияют антропогенные факторы: высота стационарного источника, интенсивность, радиус выброса (*эмиссии*), физическое состояние ТМ (аэрозоль, пыль, пары), а также объём поступления в атмосферу кислых газов ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{HF}$ ), скорость фотохимических реакций при их взаимодействии.

Роль трансграничных факторов в переносе ТМ на большие расстояния обусловлена распределением температуры и давления воздуха по высоте (*стратификацией атмосферы*), определяющих равновесие в атмосферном потоке и возможность конвективных (вертикальных) перемещений слоёв воздуха. Одновременно влияют другие абиотические факторы: количество и интенсивность осадков, их распределение по сезонам года, рельеф местности, видовой состав растений, лесных массивов и т.п.

Такие ТМ, как кадмий, медь, никель, часто присутствуют в качестве парогазовой фазы высокотемпературных выбросов тепловых электростанций (ТЭС). Наибольшую дальность трансграничного переноса имеют аэрозоли с условным радиусом менее 1,5 мкм, при этом вблизи источника выброса они выпадают с условным радиусом не менее 20 мкм. В выбросах ТЭС могут наблюдаться два максимума концентраций при выпадении ТМ из дымовых газов: первый – для крупных частиц на расстоянии до 2 – 5 км, второй – на расстоянии 10 – 15 км для мелких частиц (рис.2.5).

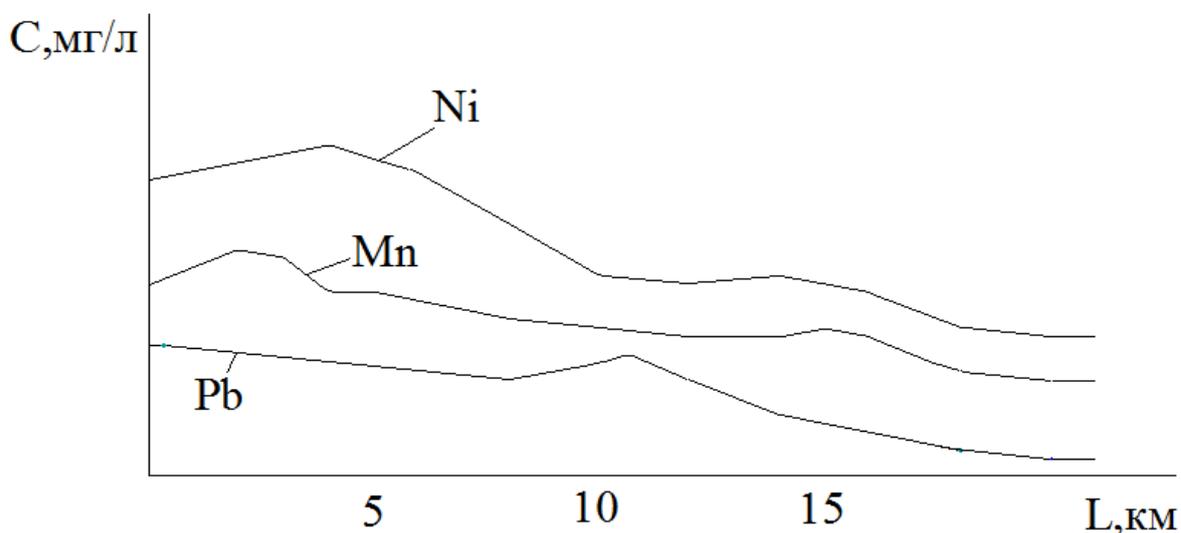


Рис. 2.5. Варианты рассеивания аэрозолей с микропримесями тяжёлых металлов

В то же время дальность переноса ТМ вследствие химических превращений не одинакова: при взаимодействии с почвенной пылью она уменьшается, а при образовании в физико-химических реакциях металлоорганических соединений, например диметилртути, увеличивается.

Токсичность ТМ в значительной мере изучена для соединений свинца, ртути. Неорганические соединения последней нарушают обмен веществ, ингибируют ферментативные процессы в организме человека. Особенно опасны для детей: приводят к умственной отсталости, хроническим заболеваниям мозга.

При вдыхании аэрозоля, содержащего двухвалентный свинец, последний заменяет кальций в костной ткани, создавая постоянный источник отравления организма. Первые симптомы проявляются в виде повышенной возбудимости, раздражительности или, наоборот, депрессии. При поступлении в организм значительных доз аэрозоля концентрация в волосах достигает 0,1 %. Выводится такое ингредиентное загрязнение лекарственными препаратами, содержащими *хелатные* (клетчатые) соединения (рис.2.6)

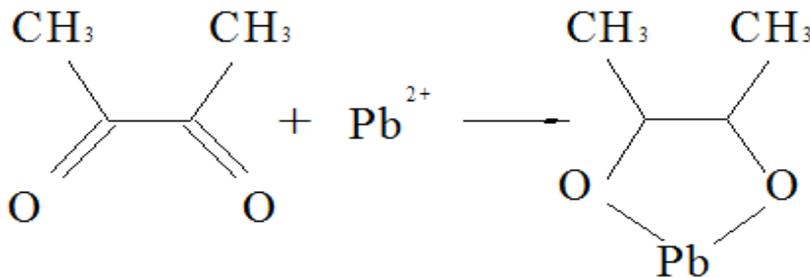


Рис. 2.6. Взаимодействие ионов свинца с хелатным соединением лекарственного препарата

Рассеивание организованного выброса в атмосфере зависит от ряда факторов, приведённых в известном уравнении, которое справедливо, в основном, для открытой местности

$$H_{\min} = \sqrt{\frac{A \cdot M \cdot K_F \cdot m \cdot n}{\text{ПДК}}} \sqrt[3]{\frac{1}{Q \cdot \Delta T}}$$

где  $H$  – высота дымовой трубы, м;  $A$  – коэффициент, зависящий от температурного градиента;  $M$  – количество вредного вещества, поступающего в атмосферу, г/с;  $K_F$  – коэффициент, учитывающий скорость оседания взвешенных частиц выброса (для газов – 1,0, пыли, аэрозоля – 2,5-3,0);  $m$ ,  $n$  – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода выброса из устья

трубы;  $Q$  – объёмный расход газовой смеси, поступающий в атмосферу,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\Delta T$  – разность температур выброса и атмосферного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ .

При рассеивании вредных веществ на открытой местности легко выделяются четыре характерные зоны распределения концентраций вредного вещества (рис. 2.7), имеющие конкретные названия: *I* – зона загрязнения неорганизованными выбросами; *II* – зона начала рассеивания организованного выброса, называемая также зоной «переброски факела»; *III*, *IV* – соответственно зона максимальных и минимальных концентраций рассеиваемого вредного вещества.

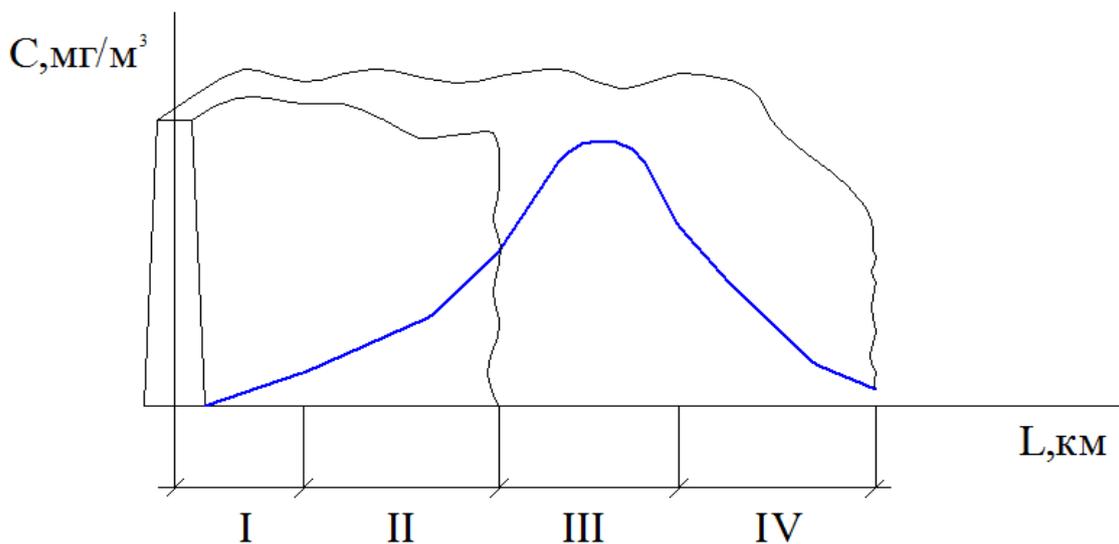


Рис. 2.7. Зоны рассеивания выброса из организованного источника

Несколько иначе распределяются концентрации загрязняющих веществ выброса предприятия, расположенного вблизи жилых массивов. Дымовая труба больших размеров (рис. 2.8., вариант *a*) способна служить преградой на пути интенсивного перемещения воздушных масс, что приводит к образованию перед ней избыточного давления  $P_1$ , а с противоположной стороны – пониженного давления  $P_2$ . В конечном итоге это приводит к оседанию определённой части загрязняющих веществ вблизи организованно поступающего в атмосферу выброса. Подобная ситуация имеет место также при нахождении многоэтажного сооружения на близком расстоянии за или перед трубой (рис. 2.8, варианты *б*, *в*). В целях исключения подобных явлений

предусматривается при проектировании размещать высотные здания на расстоянии не менее  $20H$  от источника организованного выброса.

Над каждым мегаполисом в летний период формируется так называемый «остров тепла», который также препятствует рассеиванию образующихся на его территории газопылевых выбросов. Известно, что температура атмосферного воздуха на территории городской агломерации всегда на  $2 - 3$  °C больше по сравнению с пригородной зоной.

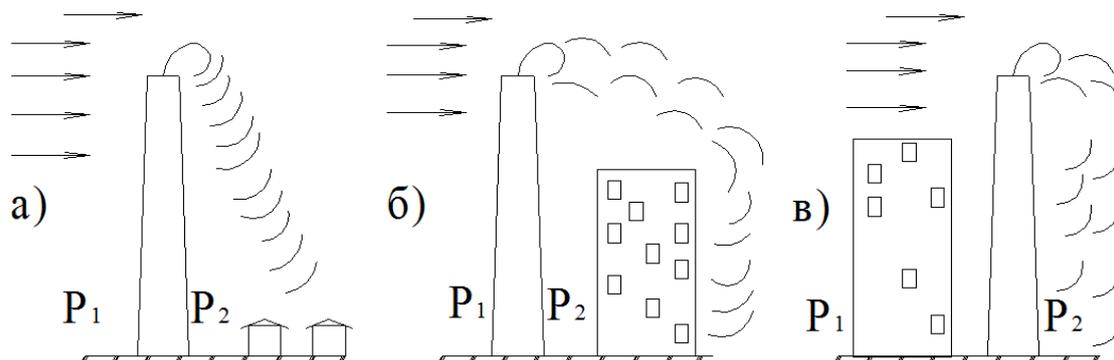


Рис.2.8. Влияние препятствий на рассеивание вредных веществ в атмосфере

Это объясняется тем, что за счёт высокой суммарной площади зданий, дорожных покрытий поглощается значительное количество солнечной энергии. Выделяющееся при этом избыточное тепло в вечернее время приводит к образованию над мегаполисом конвективных потоков воздушных масс (рис. 2.9). В конечном итоге поступившие в атмосферу загрязняющие вещества большей частью циркулируют над этой ограниченной территорией без рассеивания. Вследствие такого явления создаётся повышенная концентрация пыли, аэрозолей, других ингредиентных загрязнений над городской территорией.

В целом на рассеивание газопылевых выбросов на открытой местности или в пределах мегаполиса оказывают влияние:

- природно-климатические (абиотические) факторы местности;
- наличие естественных коридоров проветривания;
- интенсивность, продолжительность выброса в атмосферу;

- условия, приводящие к «смыванию» потока газопылевого выброса с устья дымовой трубы;
- образование «аэродинамической тени» при плотной застройке многоэтажными зданиями;
- формирование «острова тепла» над мегаполисом.

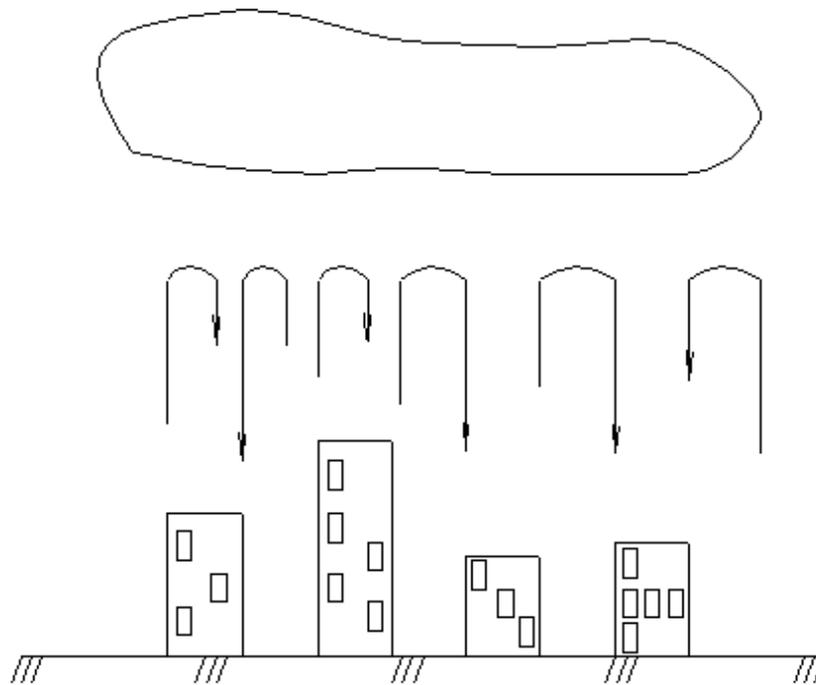


Рис. 2.9. Конвективные воздушные потоки над мегаполисом

#### 2.4. Снижение поступлений пыли, аэрозолей, оксидов углерода

Для предотвращения пылевыведения на различных стадиях производственных процессов в строительной практике предусматривается несколько технических решений. Наиболее часто – установка пылезащитных ограждений в местах её активного выделения из машин, аппаратов, сооружений. Обслуживающий персонал для защиты органов дыхания использует средства индивидуальной защиты (ватно-марлевые повязки, респираторы, противогазы). Однако в ряде случаев пыль в значительных количествах может поступать в атмосферу (дробление, рассев минерального сырья, производство цемента, извести и т.п.).

Очистка таких выбросов выполняется с использованием инерционных аппаратов, газопромывателей (скрубберов) различных конструкций, электрофильтров и т.д.

Принципиальное устройство, преимущества, недостатки, особенности их эксплуатации достаточно подробно изложены в технической литературе. Необходимо лишь добавить, что извлечение пыли из отводимых выбросов в атмосферу иногда осуществляется в несколько стадий. На первой (в пылеосадительных аппаратах) удаляют крупнодисперсную пыль с размером частиц более 100 мкм. На второй – очищают от среднедисперсной (фракция до 100 мкм), применяя рукавные фильтры, циклоны, скрубберы. На третьей, заключительной стадии, с помощью электрофильтров извлекают мелкодисперсную пыль, размеры частиц которой не превышают 1,0 мкм.

Проблема защиты атмосферы от избыточных количеств диоксида углерода достаточно сложная. Образующиеся его большие объёмы при сжигании органического топлива не могут полностью участвовать в малом биохимическом круговороте. Возможности фотосинтеза, осуществляемого флорой Земли, ограничены и имеют тенденцию к снижению выработки чистой первичной продукции. Это происходит вследствие снижения, например, площади тропических, северных лесов, угнетения их жизнедеятельности из-за поступления в атмосферу значительных количеств оксидов серы, азота и др.

Основным «поставщиком» диоксида углерода в атмосферу является теплоэнергетический комплекс. На его долю приходится около 5 млрд т в год. Второе место занимают автотранспортные средства; их общее количество в мире превышает 300 млн единиц и ежегодно увеличивается не менее чем на 5 %. В настоящее время потребление кислорода автотранспортом существенно превышает объём, расходуемый на дыхание всем населением Земли.

Наряду с поступлением от каждого работающего автомобиля 4 кг в сутки диоксида углерода, в атмосферу выделяется свыше 200 видов других вредных веществ. Отмечено, что для крупных городов период с 10 до 12 часов дня характерен наличием максимальных концентраций вредных веществ в

атмосферном воздухе (рис 2.10). Это коррелируется с интенсивностью дорожного движения, сопровождающегося значительным выделением выхлопных газов (угарный газ, оксиды азота, углеводороды, в том числе пероксиацилнитраты, усугубляющие воздействие органических веществ). Нередко в дымовых выбросах грузовых, строительных машин содержатся канцерогенные вещества, в том числе 3,4-бенз/а/пирен  $C_{20}H_{12}$ . В мегаполисах (Токио, Нью-Йорк, Москва, Санкт-Петербург и др.) автотранспорт – основной источник загрязнения атмосферного воздуха.

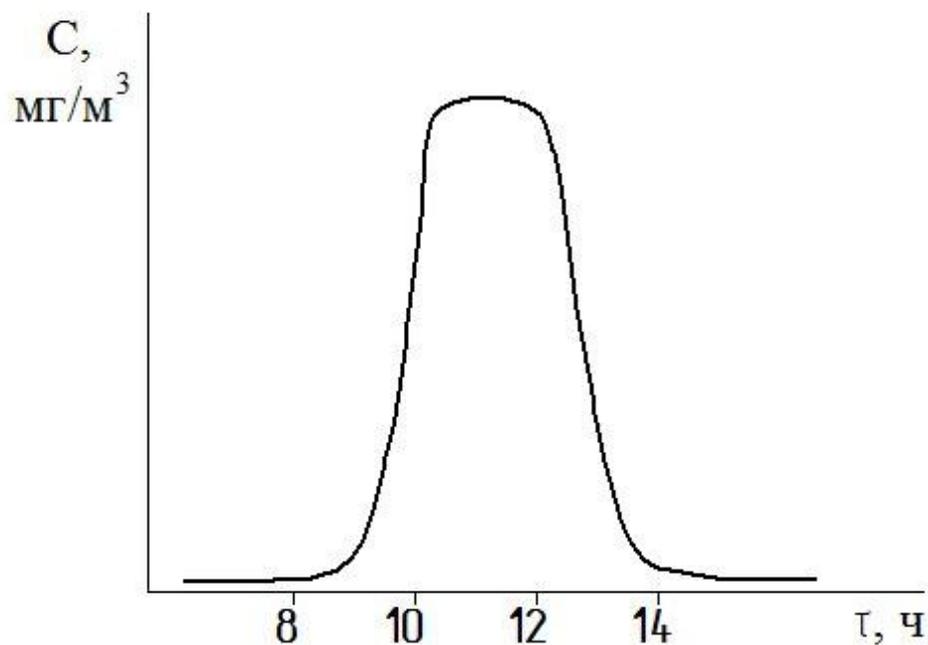


Рис.2.10. Динамика дневных концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе мегаполиса

Сжигание большого количества органического топлива в течение последних 200 лет привело к увеличению в атмосфере концентрации диоксида углерода в два раза. Это одна из причин, по мнению ряда учёных, образования «парникового эффекта», механизм формирования которого подробно изложен в литературе.

Для снижения объёмов выброса диоксида углерода в атмосферу предусматривается:

- сокращение расходов органического топлива при выработке тепловой энергии. С этой целью постоянно ведутся работы по повышению коэффициента полезного действия ТЭС;

- сохранение, восстановление лесонасаждений (согласно исследованиям В. А. Данилова-Данильяна за период цивилизации утрачено 2/3 лесов). Они – своеобразные лёгкие планеты;

- повышение экологических характеристик автотранспорта.

Реализуемых и достаточно эффективных направлений по экологизации автотранспорта несколько. Одно из основных – совершенствование дорожного движения за счёт оптимизации скоростных режимов, светофорного регулирования, безостановочного движения, введения бестранспортных зон, строительства транспортных развязок, объездов для грузовиков с транзитными грузами, размещение за пределами мегаполисов автотранспортных предприятий и т.п. Другой путь – применение автомобилей, использующих другие виды топлива, энергии. Так, например, двигатель, работающий на природном газе, обеспечивает снижение выброса вредных веществ в 10 раз. Электромобиль можно рассматривать как экологически чистое транспортное средство, если не учитывать абразивный износ его шин, сопровождающийся поступлением определённых ингредиентов в окружающую среду.

## 2.5. Защита атмосферы от оксидов серы

Выпадение кислотных осадков, приводящих к целому ряду негативных последствий, непосредственно связано с поступлением в атмосферу оксидов серы. Они в сочетании с сульфатами, сероводородом, расплавом серы, общим количеством не менее 2 млн т в год, выделяются при извержении вулканов. В то же время не менее 70–75 % названных газообразных веществ от общего объёма направляются в атмосферу в результате сжигания многосернистого топлива в котельных установках.

При сгорании такого топлива протекает ряд известных химических реакций, в результате которых образуются сернистый и серный ангидриды.

Они взаимодействуют с атмосферной влагой, что сопровождается появлением аэрозолей кислот, подкислением атмосферных осадков до рН менее 5,6.

Наблюдалось выпадение дождей с рН на уровне 1,5 – 2,2, в то время как почва сохраняет плодородие при рН в интервале 6,0 – 8,0. Необходимая кислотность обеспечивается за счёт наличия в ней карбонатов кальция. Однако при выпадении кислотных дождей они переходят в растворимые соединения – сульфаты кальция, которые легко вымываются из плодородного почвенного слоя. Одновременно происходит снижение концентрации солей калия, фосфора, разрушается структура грунта.

При снижении содержания карбонатов в почве кислотность её резко возрастает. Это приводит к миграции присутствующих в ней в качестве необходимых микроэлементов тяжёлых металлов – меди, кадмия, свинца, алюминия. С поверхностными сточными водами они поступают в водные объекты, создают негативное воздействие на ихтиофауну: происходит гибель икры, возникают аномалии в развитии мальков. Влияние кислотных осадков существенно проявляется в весенний период: накопленные в снежном покрове кислоты, другие вредные вещества при таянии аккумулируются в почве, поступают в водные объекты.

Наиболее чувствительны к увеличению кислотности почвы такие овощные культуры, как томаты, свёкла, редис, посевы зерновых – пшеница, овёс, ячмень и др.

Кислотные дожди негативно влияют не только на характеристики плодородного почвенного слоя, но и на продолжительность эксплуатации (долговечность) строительных материалов зданий, сооружений. Установлено, что изделия из неметаллических, известняковых материалов (бетон, кирпич, кладочные растворы и т.п.) разрушаются не только в кислой, но и в щелочной среде, а металлоконструкции неустойчивы при воздействии кислот (рис. 2.11).

Для защиты атмосферного воздуха от загрязнения оксидами серы применяется две группы методов: первая предусматривает извлечение серы из топлива перед сжиганием в котельных установках, вторая – очистку отводимых дымовых выбросов от названных оксидов. Удаляют серу при газификации или гидрировании топлива:



Эти способы требуют применения специального, высоко герметичного оборудования, соблюдения повышенных температур; полученные продукты подлежат обязательной утилизации. Наиболее приемлемы варианты извлечения

оксидов серы из дымовых газов, образующихся при сжигании многосернистого топлива. В одном из вариантов, называемом иногда «сухим» методом, производится связывание диоксида серы оксидом кальция, который получают разложением известняка – карбоната кальция:

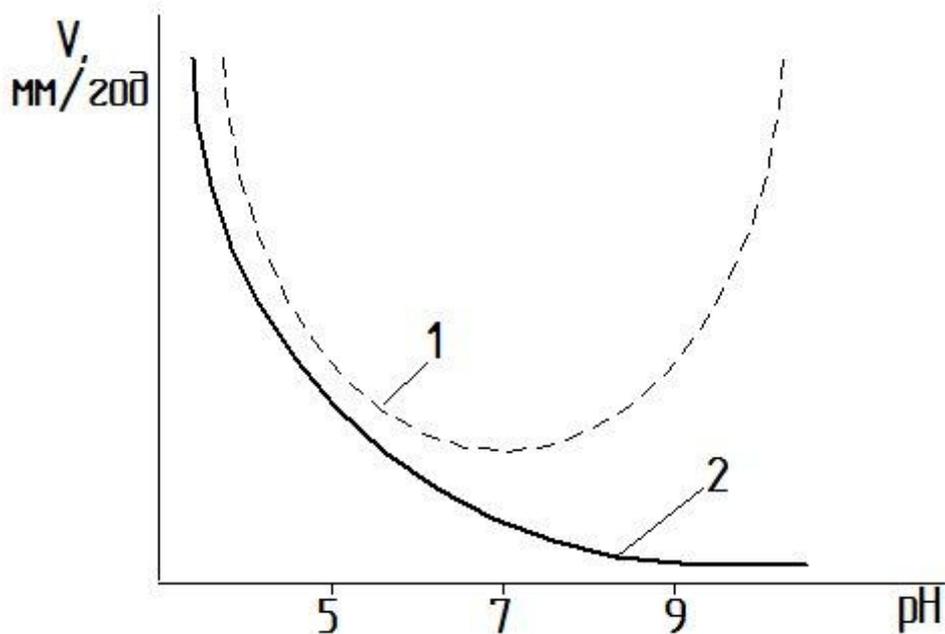
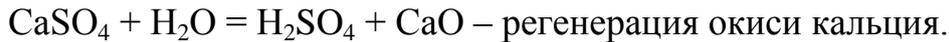
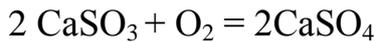
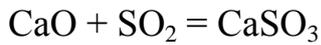
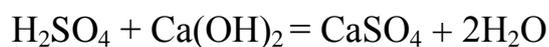
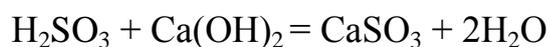


Рис. 2.11. Скорость коррозионного разрушения неметаллических (1) и металлических (2) строительных материалов в различных средах

По другому варианту, который именуют «мокрым» методом, извлечение оксида серы осуществляется известковым «молоком» – суспензией частиц оксида кальция в воде:



Сульфит и сульфат кальция, образующиеся на второй стадии извлечения оксидов серы из выбросов в атмосферу, могут использоваться в качестве сырья в строительной промышленности.

## 2.6. Снижение в выбросах азотсодержащих оксидов

Образуются такие оксиды, в основном, на определённых режимах сгорания жидкого топлива в котельных установках, двигателях внутреннего сгорания транспортных средств, строительных машин, при выплавке металлов и т.п. Тепловые станции поставляют в атмосферу ежегодно около 73 % от общего количества, автотранспорт – не менее 17 %, металлургия – в пределах 6–8 %, остальное – производства строительных материалов.

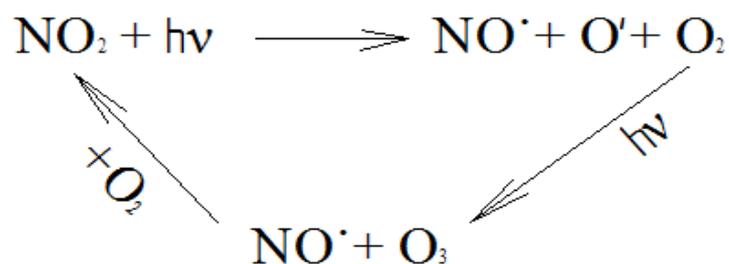
Под общей записью  $\text{NO}_x$  или  $\text{N}_x\text{O}_y$  понимают несколько оксидов азота:  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$ . Все они представляют определённую опасность для здоровья человека, оказывают негативное воздействие, в первую очередь, на атмосферу. Так, например, закись азота  $\text{N}_2\text{O}$ , получившая название «веселящий газ», при длительном вдыхании приводит к психическим расстройствам. Двуокись азота  $\text{NO}_2$  при концентрации  $15 \text{ мг/м}^3$  вызывает раздражение глаз, а при  $200\text{--}300 \text{ мг/м}^3$  представляет смертельную опасность даже при кратковременном вдыхании.

Поступление оксидов азота через дыхательные пути сопровождается образованием в крови нитритов и нитратов. Последние реагируют с гемоглобином крови, синтезируется *метагемоглобин*, который препятствует переносу кислорода кровеносной системой по организму человека. (Подобный процесс, кстати, происходит при отравлении углекислым газом. Отличие лишь в том, что конечным продуктом является *карбоксигемоглобин*, действующий по аналогии с метагемоглобином). Влияние оксидов азота на здоровье человека проявляется также в том, что в дыхательных путях они взаимодействуют с влагой и образуют азотистую ( $\text{HNO}_2$ ) или азотную ( $\text{HNO}_3$ ) кислоты. Они, в свою очередь, реагируют с лёгочной тканью и её разрушают.

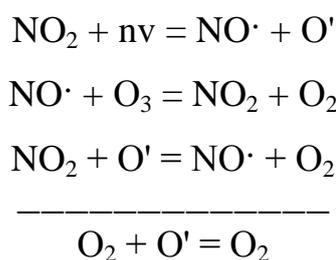
В атмосфере оксиды азота, наряду с оксидами серы, частично диоксида углерода, способствуют формированию кислотных осадков. Кроме того, они поглощают солнечные лучи в ультрафиолетовом спектре, снижают прозрачность атмосферы, создают условия для образования смога. Рассеиваясь в верхних слоях тропосферы, достигают озонопаузы, по аналогии с хлорфторуглеродами (фреонами) реагируют с озоном, снижая его концентрацию.

Последствия разрушения озонового экрана, защищающего живые организмы Земли от жёсткого ультрафиолетового излучения, общеизвестны. Так, по данным ООН, сокращение содержания озона всего лишь на 1 % увеличивает на 100 тыс. заболеваемость катарактой, на 10 тыс. возрастает количество злокачественных новообразований. В то же время высокие концентрации озона в приземных слоях тропосферы не желательны: снижается урожай сельскохозяйственных культур, в первую очередь таких, как пшеница – на 8 %, кукуруза – на 3 %; продуктивность лесов снижается на 32–57 %.

Оксиды азота при незначительных концентрациях в верхних слоях атмосферы не оказывают влияния на озоновый слой, т.к. имеется равновесие – происходит не только разрушение, но и синтез озона. Это можно представить в виде следующей схемы:



При поступлении в верхние слои тропосферы значительных количеств оксидов азота идёт процесс разрушения озонового слоя:



При низких концентрациях в приземных слоях атмосферы оксиды азота вступают в химическую реакцию с органическими загрязнениями, которые усиливают токсическое воздействие озона, т.е. создаётся *синергический эффект*.

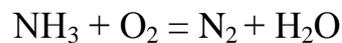
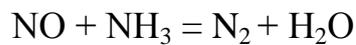
Для снижения поступлений оксидов азота в атмосферу в первую очередь необходимо соблюдать определённый режим сжигания жидкого топлива в топках котельных установок, а при наличии определённых затруднений – выполнять очистку образующихся газовых выбросов. Минимальное образование оксидов азота при сгорании топлива достигается, например, в случае двухстадийного сжигания топлива: на первой стадии с недостатком кислорода, т.е. он поступает в зону горения не более чем на 70–80 % от необходимого объёма, а на второй стадии – в нужном количестве. Такой режим сжигания позволяет поддерживать определённую температуру в топке, при которой затрудняется образование оксидов азота.

Уменьшить количество этих ингредиентов в дымовых газах ТЭС можно также при подаче в зону горения небольших количеств водяного пара. Это, как и в предыдущем случае, позволяет создать температурные условия, препятствующие образованию оксидов азота.

При отсутствии возможностей надёжной регулировки режима горения осуществляют очистку дымовых выбросов, используя ряд методов. Так, например, обеспечивая их контакт с растворами щелочей (NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub> и др.), за счёт хемосорбции удаётся извлекать из выбросов все виды оксидов азота. Также хороший результат достигается при использовании метода динамической адсорбции: через слой сорбента, размещаемый в аппарате колонного типа, с определённой скоростью проходит загрязнённый выброс. В качестве сорбента применяют гранулированный *силикагель* SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O, активные угли, цеолиты и т.п. Извлечение оксидов азота в этом случае осуществляется в основном за счёт их развитой структуры, состоящей из большого количества микро-, мезопор. Регенерация сорбента осуществляется общепринятыми методами.

Высокая степень очистки от оксидов азота обеспечивается при каталитическом окислении выбросов, поступающих в атмосферу. При использовании катализаторов – восстановителей достигается степень извлечения названных ингредиентов не менее чем на 96 %.

Разновидностью такого способа является так называемый «аммиачный» метод окисления. Как видно из рис. 2.12, смесь аммиака с оксидами азота подаётся в насадочный реактор 3, в котором происходит их одновременное окисление до простейших веществ, не представляющих опасность для атмосферы и которые легко включаются в общий круговорот веществ:



Наряду с указанными вариантами очистки выбросов от оксидов азота, применяется также ряд других методов.

## 2.7. Обеспечение защиты озонового слоя

Особая роль озонового экрана для функционирования биосферы, в первую очередь представителей флоры и фауны, кратко изложена выше. Известно, что основная причина образования озоновых «дыр» – поступления хлорфторуглеводородов (ХФУ, фреоны типа  $\text{CFCl}_3$ ,  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{CF}_3\text{Cl}$  и др.), которые до сих пор в ряде стран широко применяются как хладагент в пищевой промышленности, охлаждающего и огнетушащего продукта в первичных средствах пожаротушения, используются в кондиционерах, аэрозольных упаковках, при химчистке одежды и т.д.

Рассматривая проблему сохранения озонового слоя как глобальную, первоочередную, актуальнейшую необходимость, страны ООН приняли *Венскую конвенцию об охране озонового слоя* (1979 г.) и *Монреальский протокол* (1987 г.) по веществам, разрушающим озоновый слой.

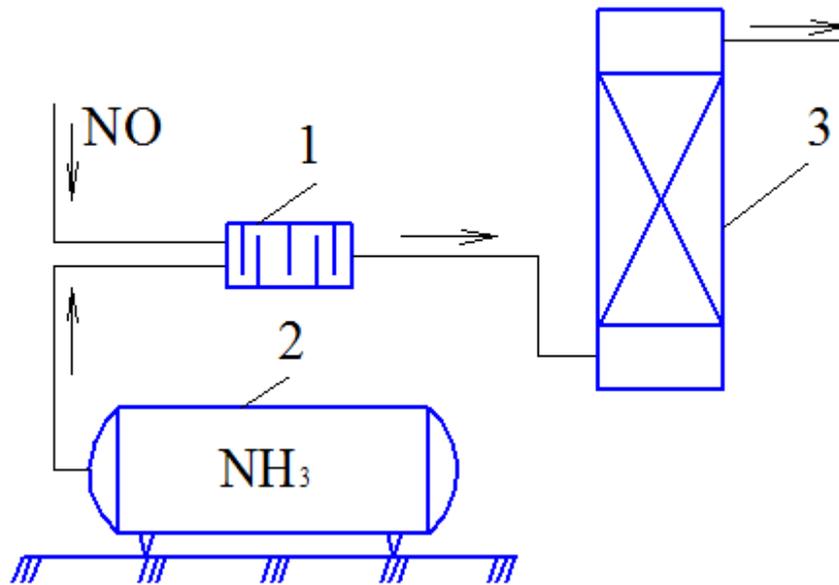


Рис.2.12. Принципиальная схема очистки выбросов от оксидов азота

Предусматривается поэтапное сокращение производства, применения озоноразрушающих веществ, в первую очередь фреонов. Планировалось к 2000 г. снизить их производство и применение на 50 %. Страны ЕЭС, Япония, Канада, Юго-Восточная Азия в 1992 г. объявили о прекращении производства фреонов в 2010 г. Они перешли на использование другого хладагента, который в меньшей мере способен оказывать влияние на озоновый экран Земли. Такое направление, безусловно, является наиболее перспективным.

Доминантное воздействие на озоновый слой оказывают, как выше указывалось, оксиды азота, поступающие в атмосферу от промышленных объектов. Рассмотренные выше способы снижения выделения и очистки таких выбросов по техническим причинам не могут использоваться при запуске ракет, эксплуатации авиалайнеров, осуществляющих выгодные для них полёты на большой высоте.

При сгорании топлива в двигателях авиалайнеров, запускаемых космических аппаратов выделяется значительное количество оксидов азота, а также газообразный хлор, оксид, диоксид углерода, хлористый водород. В количественном отношении каждый запуск ракеты сопровождается выделением не менее 1,5 т в секунду вредных веществ. В районе старта

атмосферный слой претерпевает существенные изменения, которые сохраняются в течение 8–12 ч. За первые 40 лет космических полётов в РФ произведено более 1800 запусков ракет-носителей. В текущем столетии общее количество запусков промышленно развитыми странами ожидается не менее 10 в сутки.

Реальное направление снижения поступления вредных веществ с отработанными газами из двигателей названных мобильных средств – переход на экологически безопасные виды топлива, что, в свою очередь, является крупномасштабной сложной проблемой.

## 2.8. Очистка выбросов от органических веществ

От строительных предприятий в атмосферу может поступать более 20 видов органических веществ. Они выделяются на различных стадиях приготовления лаков, красок, мастик, кровельных, изоляционных, пластмассовых, антикоррозионных материалов и т.п. Основными ингредиентами выбросов являются различные виды органических растворителей (ацетон, этил-, бутилацетат, дибутифталат, уайт-спирит), нефтепродукты (бензин, керосин) и др. Значительные поступления этих веществ в атмосферу исключаются как за счёт применения более совершенных технологических процессов, так и путём очистки выбросов адсорбцией, каталитическим, высокотемпературным окислением или абсорбционным методом.

Наряду с этим, в отдельных случаях выбросы могут содержать более опасные органические вещества. К ним относятся, например, *ксенобиотики* – представители бензольного ряда, обладающие высокой токсичностью, кумулятивными свойствами, несовместимые с жизнью человека, приводящие к злокачественным новообразованиям. В эту группу также относят отдельные агрохимикаты: пестициды, гербициды, применяемые соответственно для защиты растений и борьбы с вредителями. Большую опасность представляют бензолсодержащие растворители, винилхлорид, воздействующие на генную

систему человека, вызывающие мутации, врождённые дефекты, заболевания центральной нервной системы. Эти вещества весьма устойчивы к химическим, биологическим процессам окисления.

В случае разложения ряда длительно хранящихся органических отходов при повышенных температурах могут образовываться весьма опасные вещества *диоксины*. Поступление в организм человека больших доз, например, через дыхательные пути вызывает отравление, сопровождающееся летальным исходом. В своей структуре эти органические вещества имеют 2 – 3 бензольных кольца. Типичный представитель – тетрахлорпарабензол (2, 3, 7, 8 – тетрахлордибензодиоксид). Из 200 диоксинов не менее 17 относятся к разряду абсолютных ядов, имеющих ПДК не более  $1,0^{-10}$  г/кг массы живого вещества (рис. 2.13).

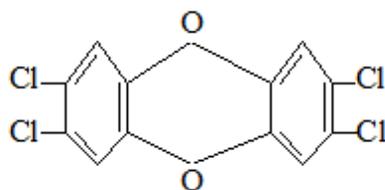


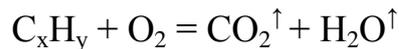
Рис. 2.13. Химическая структура типичного диоксида

Высокоэффективная очистка выбросов от названных органических веществ возможна при использовании *каталитического окисления* при температуре 200–450 °С. В качестве катализатора приемлемы, в основном, платина или палладий, нанесённые на твёрдый носитель в виде колец Рашига. Последние должны иметь большую поверхность, достаточную механическую прочность, устойчивость к истиранию. Такие катализаторы имеют высокую стоимость, относятся к категории селективных, подлежат постоянной регенерации, становятся непригодными при наличии в очищаемых выбросах других ингредиентов.

Указанные недостатки частично исключаются при использовании прямого *сжигания* (термического обезвреживания) выбросов. Большим преимуществом данного метода является его пригодность также в тех случаях, когда парогазовые поступления в атмосферу содержат смесь органических веществ.

Обезвреживание можно осуществлять, подавая выброс непосредственно в топку заводской котельной установки в качестве дутьевого воздуха.

При больших объёмах отводимых органических загрязнений применяют отдельно смонтированные установки. Для полного сжигания примесей в большинстве случаев достаточно поддерживать температуру в пределах 850 °С. В результате разложения образуются парогазы, которые способны включаться в естественно происходящие круговороты веществ:



При наличии в очищаемых выбросах ценных органических веществ, подлежащих *реутилизации*, применяют адсорбционный метод очистки. Он основан на избирательном поглощении одного или нескольких компонентов из отводимых газовых выбросов. Процесс сопровождается концентрированием извлекаемых веществ на поверхности или в объёме сорбента, которые имеют в структуре значительное количество микро-, мезопор. Для этих целей применяют искусственные и природные адсорбенты. В качестве последних в ряде случаев используют цеолиты – каркасные алюмосиликаты, молекулярные сита. Наиболее часто применяют активные (активированные) угли, получаемые в результате специальной обработки угля из древесины твёрдых пород или мелких фракций каменного угля некоторых сортов. Краткая характеристика отдельных видов адсорбентов приведена в табл. 2.1.

Т а б л и ц а 2 . 1

Наименование, марка	Размеры гранул, мм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>
Активные угли АГ-3, АГ-5, КАД	1,0 – 2,7	450
Силикагель мелкопористый	0,2 – 0,7	800 – 850
Силикагель крупнопористый	> 0,7	500 – 600
Цеолиты	1 – 3	600 – 800

Адсорберы – аппараты непрерывного действия, колонного типа, достаточно компактные, обеспечивают высокую производительность, глубокую степень

извлечения загрязняющих органических веществ, имеется возможность дистанционного управления, автоматизации их работы. Недостатки данного метода очистки выбросов сводятся к высокой стоимости сорбента, значительным затратам на его регенерацию. Она осуществляется различными методами: нагревом до высокой температуры с подачей водяного пара, инертного газа, вакуумированием, обработкой химическими реагентами и т.п. При этом нередко возникают потери сорбента, достигающие в отдельных случаях 10 %.

#### Контрольные вопросы

1. Привести, пояснить классификацию антропогенных воздействий, возникающих нагрузок на основные элементы биосферы.
2. Изложить причины образования различных видов смогов, инверсий, взаимосвязь с абиотическими факторами.
3. Что понимается под трансграничным переносом и какие возникают при этом последствия для окружающей среды?
4. Пояснить последствия и способы снижения поступлений в атмосферу оксидов углерода, серы и азота.
5. Охарактеризовать методы очистки газовых выбросов от приоритетных загрязняющих веществ, их преимущества, недостатки.
6. Какую опасность для человека представляют диоксины и другие полициклические углеводороды в атмосферном воздухе?
7. Какое значение для биосферы Земли имеет озон, причины его разрушения, способы предотвращения такого процесса?

#### Рекомендуемая литература

1. Цветкова, Л. И. Экология: учеб. для студентов высш. и сред. учеб. завед. по техн. спец. и направлениям /Л. И. Цветкова, М. И. Алексеев, Ф. В. Кармазинов и др.; под общ. ред. Л. И. Цветковой. – М.: АСВ;СПб; Химиздат, 2001. – 550 с.
2. Ажгиревич, А. И. Экология: учеб. пособие для студентов вузов /А. И. Ажгиревич, В. В. Гутенёв, И. А. Денисов и др.; под общ. ред. А. И. Ажгиревича. – Ростов н/Д.: Издат. центр «МарТ», 2006. – 767 с.
3. Николайкин, Н. И. Экология: : учеб. для студентов вузов по направлениям подг. в обл. 550000 Техн. науки и по спец. в обл. 650000 Техника и технологии /Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – М.: Дрофа, 2003. – 622 с.

4. Потапов, А. Д. Экология: учеб. для студентов вузов по направлению «Строительство» /А. Д. Потапов. – М.: Высш. шк., 2002. – 446 с.

5. Павлов, А. Н. Безопасность жизнедеятельности и перспективы экоразвития: учеб.пособие для студентов вузов телекоммуникац. профиля / А. Н. Павлов, В. М. Кириллов. – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 352 с.

6. Фирсов, А. И. Экология и строительное производство: учеб. для студентов вузов /А. И. Фирсов, А. Ф Борисов, П. В. Макаров. – Н.Новгород.: ННГАСУ, 2012. – 123 с.

### 3. Защита водных экосистем от критических техногенных нагрузок

#### 3.1. Современное состояние поверхностных вод

При общей поверхности Земли 510 млн км<sup>2</sup> на водные объекты приходится 70,8 % суши. Весь объём гидросферы составляет 1 454 000 тыс. км<sup>3</sup>. Однако, как следует из приводимой ниже табл. 3.1, доступные запасы пресной воды, необходимой для жизнедеятельности человека, ограничены. Основное количество сосредоточено в ледниках, вечных снегах, использование которых как источников водоснабжения крайне затруднительно.

Т а б л и ц а 3. 1

Элементы гидросферы	Объём, тыс. км <sup>3</sup>	% от общего объёма
Мировой океан	1 370 323	93,96
Подземные воды, всего	60 000	4,12
в том числе зона активного водообмена	4 000	0,27
Ледники	24 000	1,65
Озёра	280	0,019
Почвенная влага	85	0,006
Атмосферная влага	14	0,001
Речные воды	1,2	0,0001

Из общего количества доступных для использования мировых запасов пресных вод только около 0,01 % приемлемы без предварительной обработки на питьевые цели, в РФ – 1 %. Из-за низкого качества таких вод в ряде слаборазвитых стран подвергаются заболеванию примерно 80 % населения.

Основным источником водоснабжения в большинстве случаев являются реки, которые следует рассматривать в качестве естественных *реакторов открытого типа* (рис. 3.1). Они практически всегда имеют определённый уровень *токсикности* – ингредиентного загрязнения взвешенными (седиментарными) – С, нетоксичными – Н, токсичными веществами естественного происхождения – Т. Одновременно, вследствие эрозионного разрушения горных пород, почвенного слоя, могут присутствовать некоторые количества тяжёлых металлов – ТМ.

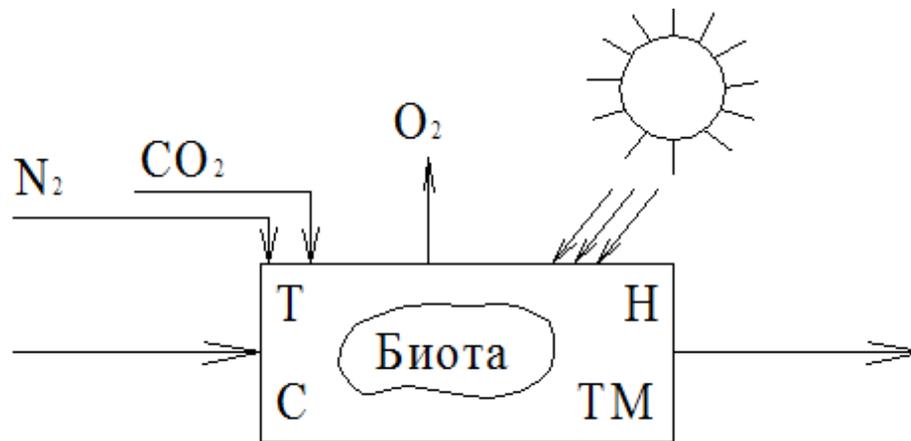
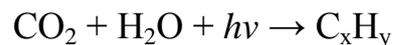


Рис.3.1. Модель проточного аэробного водного объекта

Все эти компоненты находятся в легко нарушаемом, *квазистационарном равновесии*, характеризующем совокупность факторов естественного состояния водного объекта и его экосистем при отсутствии на них воздействия критических антропогенных нагрузок.

Наличие подобного равновесия создаёт условия для естественного функционирования водной флоры, фауны (биоты) водотока. В частности, представители различных групп микроводорослей поглощают солнечную энергию, осуществляют *фотосинтез*. При этом используется диоксид углерода, усваивается азот, образуются органические вещества (биомасса в виде углеводов – сахара, фруктоза и т.п.), выделяется кислород:



Необходимый для жизнедеятельности живых организмов газообразный азот потребляется азотфиксирующими бактериями, присутствующими в биоте водных объектов, при биохимических процессах он подвергается нитрификации, денитрификации. Ежегодная биологическая фиксация атмосферного азота биотой водных объектов составляет  $1 \cdot 10^{15}$  т, в то время как за счёт наземных микроорганизмов расходуется всего лишь  $4,4 \cdot 10^{10}$  т. Денитрификаторы гидросферы в присутствии кислорода разлагают (разрушают) отмершие органические вещества, восполняя одновременно запасы азота в атмосфере.

Продукты фотосинтеза – важнейшее условие для существования биосферы Земли. При квазистационарном равновесии концентрация кислорода в водотоках при температуре 20 °С достигает 9,4 мг/л, а при 10 °С – более 11 мг/л (рис.3.2).

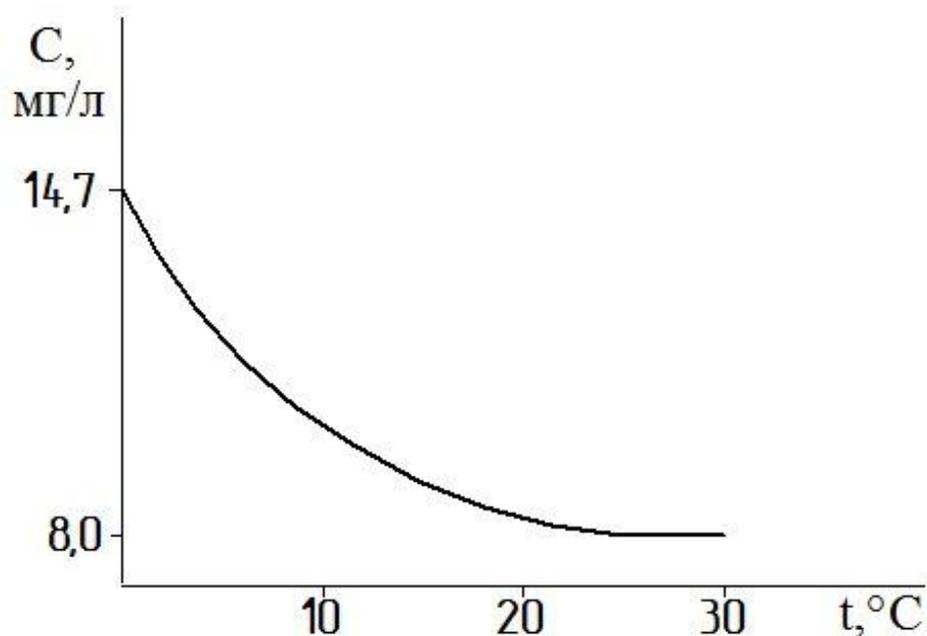


Рис.3.2. Концентрации кислорода в воде при различных температурах

Имеющиеся за счёт беспрепятственного протекания процесса фотосинтеза его избыточные количества выделяются в атмосферу. Известно, что биосфера пополняется кислородом более чем на 80 % именно за счёт устойчивого функционирования гидросферы. Водные объекты, способные при стабильной, беспрепятственной жизнедеятельности биоты (биоценоза) выделять кислород, называются *аэробными*. Другие, в которых нарушено квазистационарное равновесие, например вследствие поступления больших количеств загрязняющих веществ, будут наоборот на их окисление (разложение) потреблять кислород из атмосферы. Такие водные объекты называются *анаэробными*.

Аэробные водотоки всегда имеют определённую *ассимилирующую способность* – естественная возможность принимать некоторое количество загрязняющих веществ в единицу времени без нарушения качественных характеристик на контрольном участке, например водозаборном створе реки.

Такой процесс возможен, если не превышена допустимая экологическая нагрузка на водный объект.

Полная ассимилирующая способность по  $i$ -му показателю качества воды на  $n$ -м участке реки ( $A_{i,n}$ , г/сут) при её равномерном течении соответствует уравнению:

$$A_{i,n} = Q_n \cdot C_i \cdot 10^{k \cdot t} ,$$

где  $Q_n$  – средний расход воды на участке реки  $n$ ;

$C_i$  – норма качества по  $i$ -му показателю;

$k$  – коэффициент, характеризующий скорость потребления кислорода определённым ( $i$ -м) органическим веществом при его биоокислении;

$t$  – температура воды, °С.

Однако квазистационарное равновесие водных объектов легко нарушается из-за поступления больших количеств загрязнений со сточными водами. Естественно, при этом подавляется ассимилирующая способность, происходит потребление кислорода извне, в конечном итоге создаются анаэробные условия.

По месту формирования и соответственно перечню преобладающих загрязнений сточные воды подразделяются на три группы: хозяйственно-бытовые (часто встречается название «коммунальные»), производственные (промышленные) и поверхностные (дождевые, ливневые, талые). Наибольшую загрязнённость трудно окисляемыми веществами имеют производственные сточные воды. Основные количества вредных веществ содержатся в сточных водах предприятий нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, химической, целлюлозно-бумажной промышленности, производства гальванопокрытий и др. В них преобладают трудно окисляемые органические вещества, соединения тяжёлых металлов. Легко окисляемые загрязнения, соединения азота, фосфора, синтетические моющие средства содержатся в коммунальных стоках. Смывы с дорожного покрытия мегаполисов, территорий предприятий в виде поверхностных сточных вод насыщены нефтепродуктами, взвешенными веществами.

Существенное загрязнение водотоков, искусственных водохранилищ, морей, океанов производится при добыче, транспортировке нефти. Вследствие аварий нефтепроводов, судов, платформ на морском шельфе ежегодно в Мировой океан поступает не менее 10 млн т. Известно, что 12 г нефти способны сделать непригодной 1 т воды.

Значительную долю загрязнений в поверхностные водные объекты вносит агропромышленный комплекс. Только в РФ ежегодно используется не менее 500 млн т минеральных удобрений (преимущественно соли азота, фосфора), а также около 4 млн т ядохимикатов. Из них значительное количество поступает с дождевыми, тальными стоками в реки, озёра, водоносные подземные горизонты.

Определённый уровень загрязнения поверхностных водных объектов создаётся в результате рассеивания над ними газопылевых выбросов промышленных предприятий. Такое воздействие загрязнённых воздушных масс описывается уравнением:

$$I = -D \cdot dc/dx,$$

где  $I$  – интенсивность прохождения загрязняющего вещества через неподвижный слой  $e$  на поверхности воды;  $D$  – коэффициент диффузии ингредиента;  $dc/dx$  – градиент его концентрации.

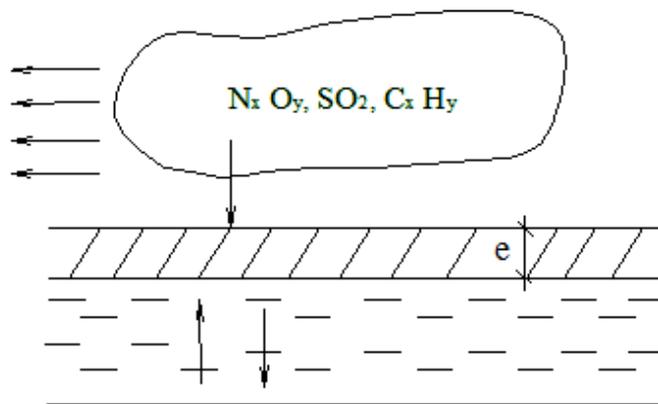


Рис.3.3. Взаимодействие загрязнённых воздушных масс с водной поверхностью

На поверхности водного объекта (рис.3.3) всегда присутствует тонкий малоподвижный слой  $e$ . Загрязняющее вещество диффундирует (мигрирует) через него из передвигающейся воздушной массы (ВМ). Однако этот процесс зависит от наличия подобного вещества в водном объекте, и оно также будет

стремиться проникнуть в передвигающуюся ВМ, атмосферу через этот же слой *e*. При наличии в ВМ более высокой концентрации конкретного ингредиента по сравнению с водным объектом будет происходить загрязнение последнего. При малой загрязнённости ВМ ингредиент будет в неё переходить из воды и создавать дополнительное загрязнение.

Высокие антропогенные нагрузки на пресноводные объекты имеют ярко выраженные последствия в виде резкого снижения качества воды, истощения запасов. Типичный пример – деградация Аральского моря, многократное превышение ПДК вредных веществ во многих реках РФ, таких, как Нева, Дон, Кубань, Амур, Волга на отдельных участках и др.

Интенсивное развитие промышленного производства, дефицит дешёвой электроэнергии, значительные площади орошаемых сельскохозяйственных земель способствовали строительству искусственных водохранилищ на равнинных реках. Это привело к изменениям их гидрологических режимов, в том числе к снижению скоростей течения, нарушению водообмена. Одновременно происходило поступление в них различных видов сточных вод, в которых, наряду с органическими примесями, присутствуют минеральные азот-, фосфорсодержащие соли. В тёплый период года малоподвижные слои воды, в первую очередь на мелководьях, легко прогреваются, имеют более высокую температуру. Все эти факторы приводят к негативным экологическим последствиям – *эвтрофикации* водохранилищ.

Эвтрофикация – процесс увеличения биопродуктивности водного объекта при повышенной температуре за счёт поступления солей азота и фосфора. Основные источники солей – коммунальные стоки, содержащие синтетические моющие вещества, смывы с сельскохозяйственных полей, сточные воды животноводческих комплексов и др. Протекает процесс в три стадии, начинается с интенсивного развития синезелёных водорослей – древнейших на Земле микроорганизмов размером 50 – 500 мкм – появились на Земле 2 – 3 млрд лет назад, насчитывается более 200 видов. Они активно потребляют кислород, выделяют опасные для теплокровных представителей фауны токсины

(алкалоиды, низкомолекулярные пептиды и др.), приводящие к циррозу печени, дерматитам и т.п. Водоём постепенно становится анаэробным, на заключительной стадии деградации происходит его заболачивание, а затем он полностью прекращает своё существование как водный объект. Наиболее часто первая стадия – цветение мелководных, медленно текущих рек, неглубоких, малопроточных искусственных водохранилищ – наблюдается летом в южных районах.

Начало процесса эвтрофикации обычно характеризуется рядом признаков:

- происходит смена популяций растительного мира, преобладают синезелёные водоросли;
- снижается концентрация растворённого кислорода в воде;
- увеличивается содержание взвешенных веществ органического происхождения;
- возрастает биомасса фитопланктона с одновременным сокращением видового состава, что сопровождается изменением разнообразия ихтиофауны, исчезновением её ценных сортов.

### 3.2. Организационно-техническое обеспечение рационального водопользования

Защита водных объектов от истощения, загрязнения обеспечивается за счёт соблюдения установленных расчётами *предельно допустимых экологических нагрузок* (ПДЭН). Они включают научно обоснованные для конкретного водного объекта лимиты отбора воды на различные цели, а также нормы сброса в него вредных веществ в единицу времени за счёт антропогенной деятельности. Расчёты выполняются, принимая во внимание ассимилирующую способность, т.е. возможности самоочищения реки, озера, водохранилища.

Для обеспечения ПДЭН каждому хозяйствующему субъекту, имеющему статус юридического лица, строго индивидуально, с учётом анализа его производственной деятельности, потребностей других водопользователей, выделяются лимиты забираемой воды, предельно допустимые сбросы (ПДС) сточных вод. Они устанавливаются на определённый период времени и контролируются государственным водоохранным ведомством. Потребитель производит оплату по установленной государством стоимости за выделенную по лимиту воду и сброс стоков с определённым уровнем очистки. В случае

превышения выделенных лимитов водопотребления или водоотведения оплата каждой учётной единицы существенно возрастает.

Расчёт ПДС – максимально допустимой массы загрязняющего вещества (кг/сутки, т/год), которое может поступать в установленном режиме водоотведения от конкретного предприятия на данном участке водного объекта в единицу времени, не изменяя качественных характеристик природных вод, выполняется по формуле:

$$\text{ПДС}_i = Q_{\text{общ}} \cdot C_i; \quad Q_{\text{общ}} = Q_1 + Q_2 - Q_x,$$

где  $Q_{\text{общ}}$  – общий расход сточной воды, содержащий  $i$ -й загрязняющий компонент;  $C_i$  – концентрация;  $Q_x$  – безвозвратные потери взятой воды.

Введение платного водопользования стимулирует внедрение на предприятиях технических решений, предусматривающих экономию воды: проводится модернизация технологических процессов, замена водоёмкого оборудования и т.п. Это осуществляется также за счёт применения комбинированного охлаждения теплообменной аппаратуры: на начальной стадии процесса предусматривается охлаждение до некоторой температуры за счёт подачи больших объёмов воздуха, а на заключительной стадии – технической воды. Учитывая, что в теплообменных аппаратах расходуется обычно не менее 80 % потребляемой воды, такое техническое решение позволяет существенно снизить подобные расходы.

Значительный экономический эффект получают предприятия, которые взамен прямоточных (рис. 3.4 а) применяют иные схемы водоснабжения.

Прямоточная система рассчитана на одноразовое использование: взятая вода поступает к потребителю, применяется для решения определённых технических задач, часто получает загрязнение (тепловое, химическое, биологическое). Это вызывает необходимость её очистки, после чего она направляется в водный объект. При последовательном (многократном) использовании образующаяся горячая вода от охлаждения аппаратов по трубопроводам направляется, например, на обогрев помещения, затем может

использоваться для приготовления бетонного, штукатурного или какого-либо другого раствора.

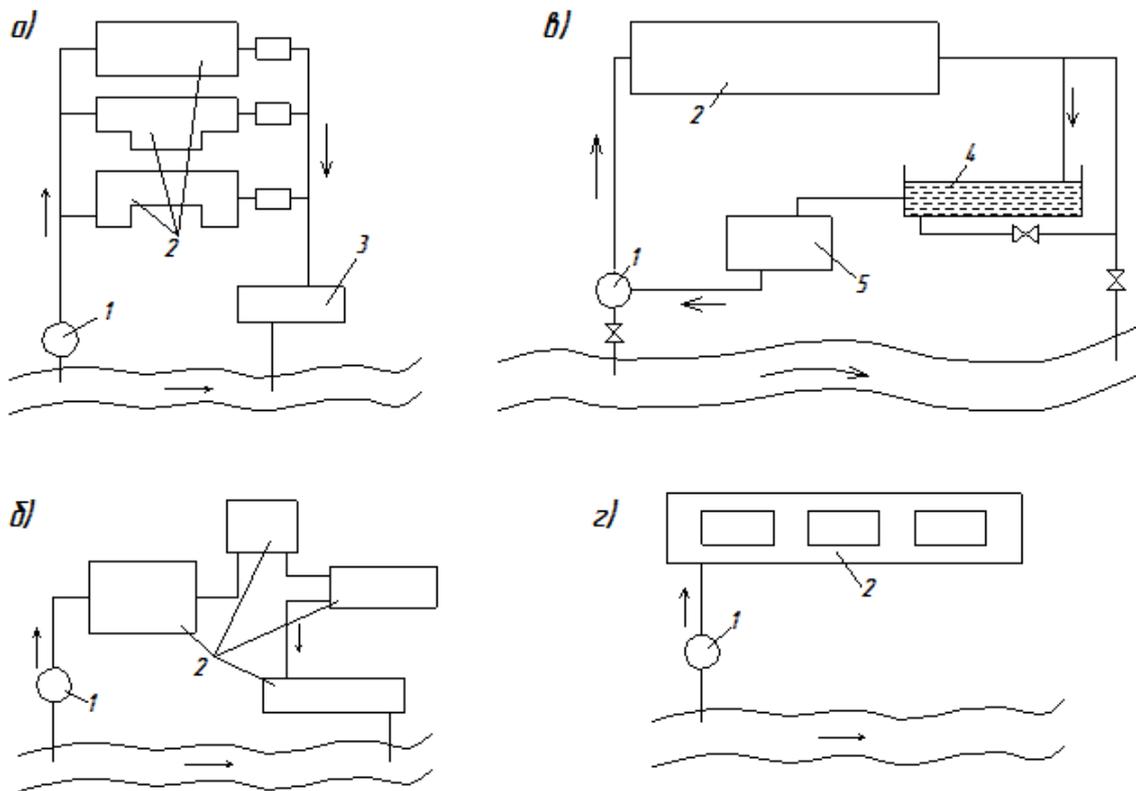


Рис. 3.4. Типовые схемы водоснабжения промышленных предприятий:

*а* – прямоточная; *б* – последовательная; *в* – оборотная; *г* – подпиточная схемы; 1 – насосная станция; 2 – производственные цехи; 3 – сооружения очистки сточных вод; 4, 5 – сооружения охлаждения, кондиционирования оборотной воды

Системы оборотного водоснабжения (рис. 3.4 *в*) на различных предприятиях, в том числе производства строительных материалов, наиболее перспективны. При эксплуатации оборотной системы осуществляется её однократное заполнение, а затем выполняется лишь периодическая подпитка небольшими объёмами – для компенсации потерь воды из-за испарения, каплеуноса на стадии охлаждения и т.п.

Реализация кратко изложенных схем производственного водоснабжения позволяет существенно снизить нагрузку на водотоки, предотвратить, в частности, их истощение. Не менее важное направление – создание и обустройство их водоохраных зон, которые, согласно Водному кодексу РФ,

должны иметь в обязательном порядке все реки, озера, водохранилища. Они представляют собой территории, выделяемые от уреза воды вдоль каждого берега реки на всём её протяжении или по периметру озера, искусственного водоёма (рис. 3.5).

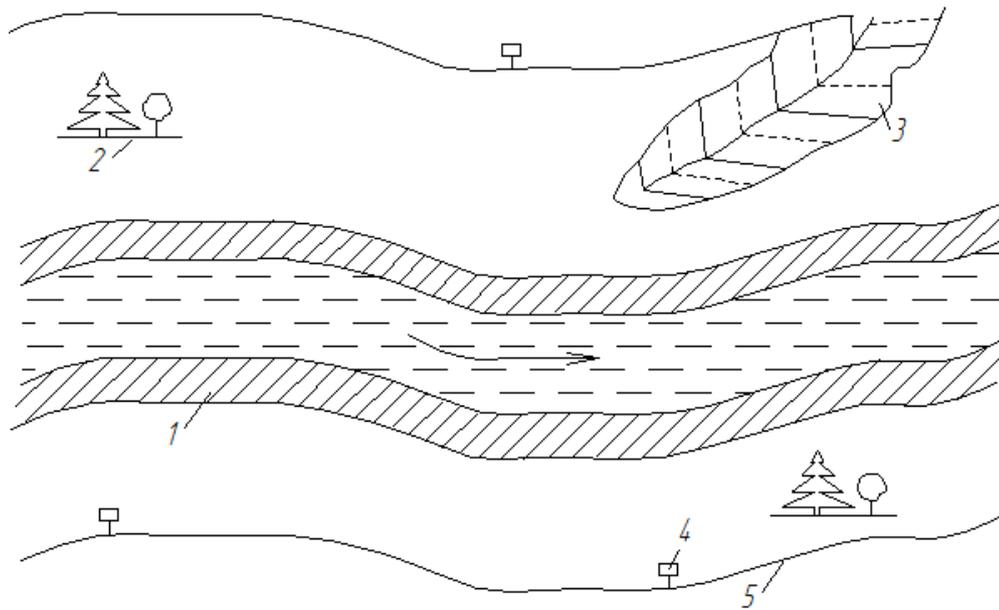


Рис.3.5. Основные элементы водоохранных зон

Ширина такой территории зависит от длины водотока или площади зеркала  $S$  непроточного водного объекта: в первом случае максимальное значение составляет 300 м, во втором, при  $S$  менее двух км<sup>2</sup>, принимается 300 м, в случае  $S$  выше указанной – 500 м. Ближайшая к урезу воды территория 1, шириной 10–15 м, называется *прибрежной полосой*. В ней запрещены какие-либо виды хозяйственной деятельности, в том числе не допускается распашка земель, временное размещение сыпучих, легко выветриваемых, смываемых, горючих, смазочных материалов, строительных или иных отходов, инженерных сооружений, способных повлиять на качественные характеристики воды и т.п.

Граница водоохранной зоны 5 должна обозначаться соответствующими знаками 4. Основную береговую площадь в ней должны занимать лесонасаждения 2, состояние которых контролируется. В них неприемлемы лесозаготовительные работы, допускается только санитарная рубка: удаление сухостоя, больных деревьев или кустарников. Ведётся работа по

предотвращению образования, развития оврагов 3, а при наличии таковых в обязательном порядке производится задернение их склонов, посадка кустарников. Запрещается в ней размещать без эффективных сооружений очистки сточных вод какие-либо производственные объекты, санатории, профилактории, пансионаты и т.п.

Обеспечение надлежащего качества воды в поверхностных водных объектах существенно зависит от характеристики направляемых в них сточных вод. Наибольшую загрязнённость трудно окисляемыми веществами имеют производственные сточные воды. В соответствии с действующим Водным кодексом РФ, законом «Об охране окружающей природной среды» запрещено направлять неочищенные стоки не только в поверхностные водные объекты, но в большинстве случаев и на захоронение без предварительной подготовки в подземные горизонты.

Каждое промышленное предприятие, имеющее названные выше виды сточных вод, обязано, согласно природоохранному законодательству, обеспечить их очистку перед подачей в водный объект. При малом объёме стоков, в пределах 100 м<sup>3</sup> в сутки, производится их локальная (прицеховая, предварительная, внутризаводская) очистка на этих сооружениях до определённых норм с целью дальнейшей подачи на муниципальные сооружения. В случае большого количества стоки, как правило, очищаются полностью на сооружениях предприятия с учётом всех санитарно-гигиенических требований, предъявляемых к их отведению в водный объект.

Эффективная работа сооружений и надлежащее качество очищенных сточных вод возможны при соблюдении ряда требований:

- имеется в распоряжении обслуживающего персонала надлежащий перечень необходимых технических средств и осуществляется постоянный контроль работы сооружений, объёмов, уровня загрязнения поступающих и очищенных сточных вод;

– выполняются регулярные технологические, санитарно-технические, профилактические, организационно-хозяйственные мероприятия по обеспечению бесперебойной работы сооружений;

– отработаны приёмы ликвидации аварийных ситуаций, которые могут возникать при работе основных узлов, изменившихся условий на водном объекте.

В целях обеспечения общей экологической обстановки на водном объекте персонал сооружений обязан о возникших изменениях в составе, объёме отводимых стоков своевременно информировать контролирующие государственные природоохранные ведомства.

Стимулирование экологически безопасной водохозяйственной деятельности промышленных предприятий, в том числе производства строительных материалов, осуществляется путём установления налоговых или иных льгот. В их числе – поощрительные цены на экологически чистую товарную продукцию, введение налога на экологически опасную продукцию, льготное кредитование и т.д. При выявлении экологического ущерба предприятие выплачивает определённую сумму штрафа, которая обычно соизмерима с расходами на восстановление экологических характеристик водного объекта.

Экономическая эффективность водоохраных мероприятий определяется путём анализа деятельности предприятия за конкретный период. Принимается во внимание не только работа водоохраных сооружений, но и наличие, реализация способов утилизации образующихся при этом отходов в виде извлечённых механических примесей, шламов, осадков и т.п.

### 3.3. Экозащитная техника водных объектов

Для создания допустимых экологических нагрузок на водные объекты каждый хозяйствующий субъект (водопользователь) выполняет комплекс мероприятий, в перечень которых входят:

- локальная очистка образующихся стоков, обязательная регенерация технологических растворов с извлечением сырьевых продуктов, полупродуктов;
- сбор и очистка до установленных нормативов всех видов сточных вод перед подачей в водный объект;
- внедрение систем водообеспечения за счёт использования взамен природных только очищенных сточных вод;
- создание единой водохозяйственной системы для нескольких, вблизи расположенных промышленных предприятий.

Локальная очистка является обязательной для всех производственных цехов, отводящих стоки в общезаводскую систему канализации. Это позволяет исключить поступление легко извлекаемых примесей на основные сооружения предприятия или муниципальные сооружения. Извлечение легко оседающих крупных, мелкодиспергированных механических примесей, жидких полупродуктов, продуктов осуществляется отстаиванием в специальных сооружениях. Применяются, например, песколовки, где скорость движения очищаемой сточной воды не превышает 0,3 м/с, такая же примерно скорость в нефтеловушках. Используют различные конструкции отстойников для изъятия трудно оседающих частиц. Выделенные ценные продукты направляют на утилизацию, а прочие – обычно подвергаются обеззараживанию, а затем производится их захоронение. Извлечение названных загрязнений позволяет исключить формирование донных отложений в водных объектах, образования на их поверхности всплывного слоя, например из нефтепродуктов, растворителей.

После локальной очистки и при отсутствии растворённых органических веществ сточные воды могут направляться на повторное использование или в водный объект. Однако растворённые загрязнения довольно часто присутствуют, негативно влияют на качественные характеристики природных вод. В результате нарушается квазистационарное равновесие в водоёме, что способствует его переходу в анаэробное состояние. Для исключения подобных

негативных явлений выполняется дополнительная очистка отводимых стоков различными методами (рис. 3.6).

Выбор того или иного метода извлечения растворённых примесей зависит от ряда факторов: суточного расхода стоков, их качественной характеристики, режима поступления и т.д. При больших объёмах сточных вод часто применяют биологический (биохимический) метод очистки. Он основан на способности специально адаптированных микроорганизмов – представителей водной флоры, фауны, использовать растворенные в воде органические вещества для своей жизнедеятельности.

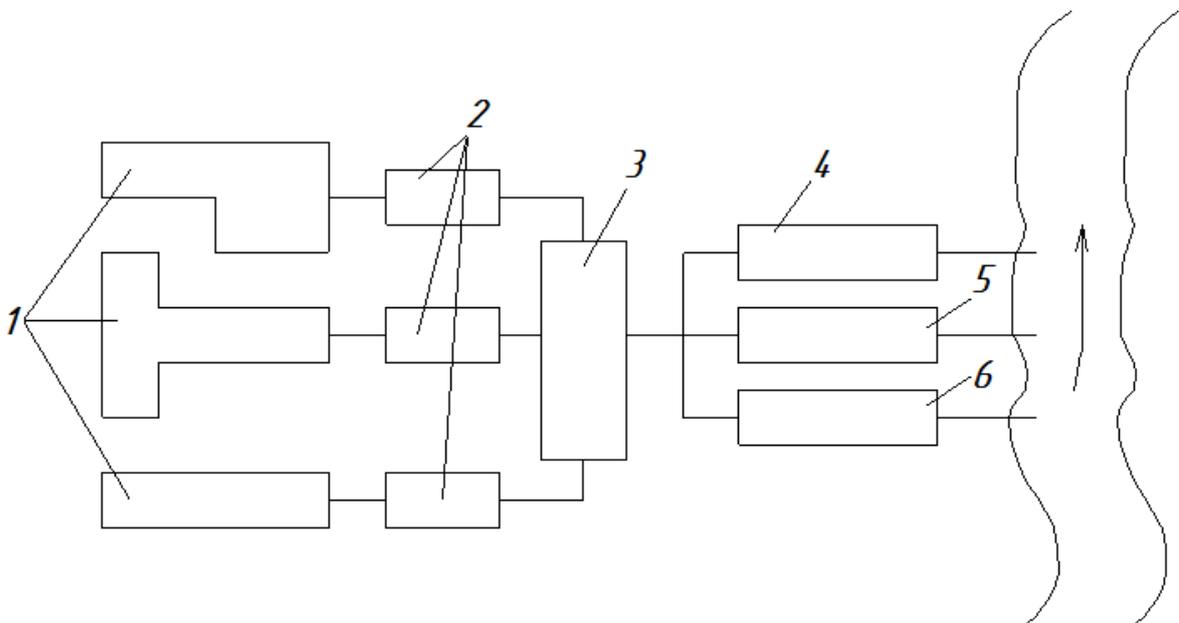


Рис. 3.6. Принципиальная схема водоотведения сточных вод промышленного предприятия:

1 – производственные цехи, участки, установки; 2 – сооружения прицеховой (локальной) очистки стоков; 3 – накопитель (усреднитель); 4 – 6 – возможные варианты дальнейшей (внутризаводской физической, химической, биологической или иной) очистки

В случае небольших суточных расходов производственных сточных вод, при наличии в них трудно окисляемых веществ, используют физико-химические и химические методы очистки. В перечне первых – коагуляция в сочетании с флокуляцией, сорбция, экстракция, ионный обмен. Из химических чаще используют нейтрализацию, обработку сильным окислителем – хлором, озоном, а также каталитическое, термокatalитическое окисление, восстановление, ионизирующие излучения и т.п.

Довольно часто в мегаполисах промышленные предприятия с длительным сроком эксплуатации (50 лет и более) оснащены сооружениями очистки сточных вод, которые способны извлекать только определённую часть загрязнений. В таких случаях предусматривается их подача на общегородские сооружения, где осуществляется их дополнительная очистка.

Определённых затрат требуют мероприятия по *предотвращению* эвтрофикации или ликвидации её последствий в малопроточных водоёмах. В первую очередь при этом ставится задача исключить поступление в них сточных вод, содержащих соединения азота и фосфора. Применительно к промстокам подобная проблема решается достаточно успешно за счёт использования перечисленных выше методов очистки. Наибольшие сложности связаны с поверхностными стоками, которые формируются при выпадении осадков, таянии снегов на сельскохозяйственных полях. В них иногда присутствуют растворимые соли азота и фосфора из-за внесения избыточных количеств в почву минеральных удобрений. Единственный путь исключения таких поступлений – строгий контроль, чёткое соблюдение сроков, норм внесения таких удобрений.

Биогенные элементы, как важное условие процесса эвтрофикации крупных водоёмов, поступают в него также вследствие *абразии* – волнового разрушения берегов. Предотвратить этот процесс, а также исключить образование мелководий, способствующих избыточному нагреву водных слоёв, можно путём проведения берегоукрепительных, дноуглубительных работ.

При активном развитии процесса эвтрофикации в малопроточных водоёмах проводятся работы по ликвидации негативных последствий, которые проявляются в виде покрытых синезелёными водорослями значительных площадей зеркала воды, произрастания на отмелях макрофитов – камыша, рогоза и т. п. В качестве эффективного средства предотвращения их дальнейшего развития следует считать активную принудительную аэрацию, перемешивание воды на поражённых водных площадях. Для этих целей применяют циркуляционные насосы или лопастные мешалки – аэраторы,

размещаемые на понтонах. В ряде случаев приемлема химическая обработка таких площадей специальными препаратами. При зарастании мелководий выполняется скашивание макрофитов с последующим перемещением их на береговую территорию.

Несколько проще поступают при обнаружении признаков эвтрофикации прудов, небольших искусственных водохранилищ: производят их опорожнение, зачистку берегов, дна строительной землеройной техникой – бульдозерами, грейферами, скреперами и т.п. Собранная биомасса компостируется и становится приемлемой для использования в качестве органического удобрения сельскохозяйственных угодий. После зачистки водоём заполняется водой до установленного уровня.

#### Контрольные вопросы

1. Охарактеризовать водотоки как реакторы открытого типа, роль квазистационарного равновесия.
2. Изложить причины загрязнения проточных, непроточных водных объектов.
3. Пояснить роль ассимилирующей способности водных объектов, причины их эвтрофикации.
4. Что понимается под истощением, загрязнением источников пресной воды, какие реализуются технические решения по их предотвращению?
5. Перечислить и пояснить технико-экономические способы, позволяющие снизить экологическую нагрузку на водные объекты.

#### Рекомендуемая литература

1. Цветкова, Л. И. Экология: учеб. для студентов высш. и сред. учеб. завед. по техн. спец. и направлениям /Л. И. Цветкова, М. И. Алексеев, Ф. В. Кармазинов и др.; под общ. ред. Л. И. Цветковой. – М.: АСВ; СПб; Химиздат, 2001. – 550 с.
2. Ажгиревич, А. И. Экология: учеб. пособие для студентов вузов /А. И. Ажгиревич, В. В. Гутенёв, И. А. Денисов и др., под общ. ред. А. И. Ажгиревича. – Ростов н/Д.: Издат. центр «МарТ», 2006. – 767 с.
3. Николайкин, Н. И. Экология: учеб. для студентов вузов по направлениям подг. в обл. 550000 Техн.науки и по спец. в обл. 650000 Техника и технологии/ Н. И. Николайкин, Н. Е. Николайкина, О. П. Мелехова. – М.: Дрофа, 2003. – 622 с.
4. Потапов, А. Д. Экология: учеб. для студентов вузов по направлению «Строительство» /А. Д. Потапов. – М.: Высш. шк., 2002. – 446 с.
5. Фирсов, А. И. Экология и строительное производство: учеб. для студентов вузов /А. И. Фирсов, А. Ф. Борисов, П. В. Макаров. – Н.Новгород.: ННГАСУ, 2012 – 123 с.

## 4. Техногенное воздействие на литосферу

### 4.1. Виды техногенных нагрузок

Литосфера – внешняя оболочка Земли толщиной от 5 до 75 км, состоит из верхних слоёв (мантии), земной коры с почвенным слоем, водными объектами. В её состав входят: соединения железа – 33,6 %, кремния – 15,2 %, щёлочно-земельных металлов – около 12,7 %, алюминия – 8,05 %, других элементов – в пределах 1,0 %. По своему строению она неоднородна, состоит из литосферных *тектонических плит* с наклонными или вертикальными границами раздела. Плиты способны перемещаться, на их границах возникают значительные механические напряжения, приводящие к сейсмическим процессам. Наряду с этим, происходят вулканические извержения, сопровождающиеся поступлением на поверхность Земли больших количеств магмы, пепла, которые создают негативное воздействие на качественные характеристики почвенного слоя.

Приведённые естественные нагрузки менее значимы по сравнению с техногенными воздействиями на литосферу. В процессе развития, совершенствования различных видов промышленного производства происходит интенсивная добыча природного сырья, которая увеличивается в 2 раза через каждые 10 лет. Из него производится 70 % всей товарной продукции. Из недр Земли – верхняя часть земной коры, в пределах которой ведётся добыча полезных ископаемых, – в первую очередь в больших количествах изымаются металлосодержащие, горно-химические руды. Последние – основное сырьё для производства минеральных удобрений.

Современная теплоэнергетика не могла бы существовать без добычи каменного угля, нефти и газа, суммарное извлечение которых составляет более 100 млрд т в год и имеет тенденцию дальнейшего роста. В производстве строительных материалов постоянно используются нерудные материалы – песок, глина, известняк, кварцит, доломит, гранит и т.п.

Добыча природного сырья производится открытым и закрытым способами, что создаёт значительные нагрузки на верхние слои литосферы, изменяет ландшафт, приводит к высокой запылённости атмосферного воздуха. Известно,

что открытая горная добыча в Либерии ценной руды закончилась исчезновением самих гор. Эксплуатация шахт сопряжена с формированием огромных пустот в подземных горизонтах, а на поверхности – терриконов высотой до 100 м и более из пустой породы или добытого сырья. Помимо пыления «современных пирамид», возникает целый ряд экологических проблем:

- создаются сосредоточенные локальные нагрузки на верхний слой литосферы, активируются геологические процессы, приводящие к провалам грунта на больших площадях, оползням, образованию оврагов;

- возникают депрессионные воронки при откачке воды из подземных горизонтов – мест добычи полезных ископаемых; вследствие этого происходит обезвоживание грунтов, снижается урожайность сельскохозяйственных культур, изменяется видовой состав растительного покрова;

- выделяется большое количество метана из подземных горизонтов, который является вторым по значимости в формировании «парникового» эффекта (ежегодно в мире при подземной добыче каменного угля в атмосферу его поступает до  $46 \cdot 10^6$  т);

- происходит интенсивное загрязнение почвенного слоя в районе добычи за счёт интенсивного движения автотранспортных, железнодорожных средств перевозки грузов.

Существенные естественные и техногенные изменения происходят в *плодородном почвенном слое*, который позволяет получать более 90 % пищевой энергии. Он представляет собой естественно-историческое органоминеральное тело, обладающее биопродуктивностью, возникшее в результате совместного длительного воздействия абиотических, биотических и техногенных факторов. Формировался в течение тысячелетий, в качестве основных компонентов в нём присутствуют микроэлементы, продукты гумификации, влага и воздух. Средняя толщина составляет 18–20 см, в отдельных регионах может достигать 3 м.

## 4.2. Защита почв от истощения, загрязнения

Обеспечение надлежащего состояния плодородного почвенного слоя – необходимое условие для дальнейшего существования значительной части живых организмов, в первую очередь – фотосинтезирующих растений. Однако постоянное влияние естественных и техногенных факторов приводит к его истощению и загрязнению.

*Истощение* – потеря почвенным слоем питательных веществ при механическом, химическом воздействии. Естественное механическое может быть длительным и скоротечным. Длительное обусловлено водной, ветровой эрозией (дефляцией). Скоротечное естественное разрушение происходит в виде оползней, селей. Оползень – скользящее перемещение слоёв земли вследствие геологических процессов или локального переувлажнения, антропогенной деятельности. Сель (арабский – бурный поток) – грязекаменный поток, перемещающийся с большой скоростью. Только за счёт водной эрозии, дефляции, засоления, подкисления, оврагообразования ежегодно в мире деградирует около 7 млн га сельскохозяйственных земель, т.е. площадь, способная прокормить 21 млн человек.

*Загрязнение* почвы – накопление в почвенном слое физических, химических, биологических компонентов, негативно влияющих на её плодородие. Такое воздействие оказывает, как выше отмечено, добыча топливно-энергетических ресурсов и многие другие отрасли промышленности. Так, например, выбросы ТЭС, работающих на каменном угле, при рассеивании поставляют угольную пыль, сажу, аэрозоли тяжёлых металлов (соединения свинца, ртути, мышьяка, ванадия); присутствуют оксиды серы, нередко фтористые соединения, радионуклиды. Последние в более широком перечне, содержатся в парообразных и иных выбросах атомных электростанций: могут в них находиться радионуклиды йода, стронция, цезия, калия и др. От предприятий металлургии, кроме пыли от переработки руды, выбросы содержат легко оседающие при рассеивании оксиды металлов, соединения фтора, марганца.

Загрязнение почвы химическими предприятиями происходит в основном за счёт поступления паров растворителей, кислот, углеводородов, в том числе фенолов, различных эфиров. Довольно часто причиной накопления антропогенных загрязнений является орошение земель недостаточно очищенными стоками, размещение складских помещений, свалок с растворимыми, пылящими материалами. На почве при рассеивании оседают также выхлопные газы из двигателей автотранспорта, строительных машин. техники. Наиболее опасными являются полициклические ароматические углеводороды, в том числе 3, 4-бенз/а/пирен  $C_{20}H_{12}$ . Вблизи автомагистралей, крупных промышленных предприятий почва часто загрязнена на расстоянии до 5 км.

Загрязнение почвенного слоя осуществляется агропромышленным комплексом в случае сверхнормативного внесения минеральных удобрений, ядохимикатов для борьбы с вредителями. Накопление минеральных солей наблюдается при ирригации земель: вследствие интенсивного искусственного орошения происходит вымывание из почвы растворимых органических веществ и остаются малопригодные для растений нерастворимые соединения.

Предприятия производства строительных материалов в своих выбросах имеют большие количества легко оседающей цементной пыли. Все перечисленные ингредиенты при рассеивании контактируют с почвенным слоем, влияют на его характеристики. Это обусловлено тем, что он не представляет собой твёрдое тело, по сравнению с основной частью литосферы, а имеет трёхфазную систему: твёрдые частицы окружены воздухом, имеется множество пор, пустот, заполненных водными растворами питательных веществ.

Определённые изменения под действием названных и других ингредиентов происходят в составе почвенных микроорганизмов. В частности, из-за недостатка кислорода, расходуемого на окисление загрязняющих веществ, уменьшается численность нитрифицирующих бактерий, окисляющих аммиак до солей азотистой и азотной кислоты. В конечном итоге снижается количество

нитритов и нитратов – важных элементов питательной среды для растений, в том числе для выращивания сельскохозяйственных культур.

В целом все виды загрязнений, аккумулируемых почвенным слоем, подразделяются на три группы (рис.4.1).

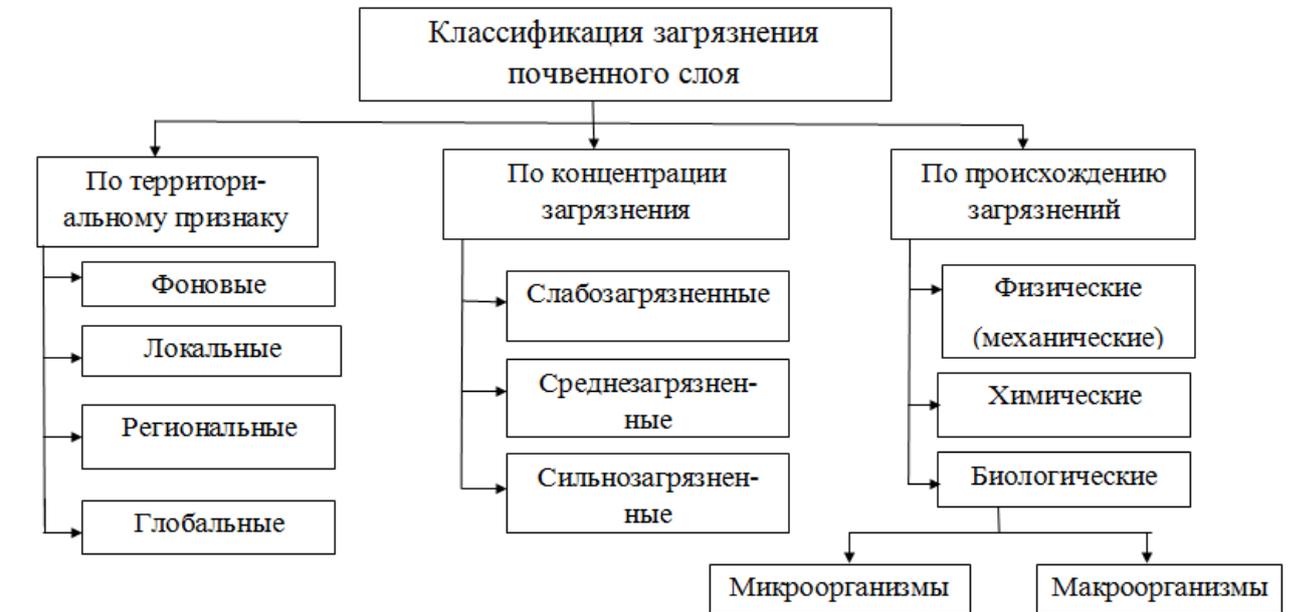


Рис. 4.1. Отходы, негативно влияющие на почвенный слой

*Фоновые* загрязнения образуются под действием биотических и абиотических факторов. *Локальные* возникают непосредственно на территории и вблизи источника загрязнения. *Региональные* формируются вследствие переноса загрязняющих веществ на расстояние до 40 км от промышленного или иного источника загрязнения: *глобальные* – из-за переноса загрязняющих веществ на расстояние более 1 000 км.

Уровень загрязнения химическим веществом оценивается с учётом его *ПДК в почвенном слое*. Под этим санитарно-гигиеническим нормативом понимается такая концентрация (мг/кг) вредного вещества в пахотном слое почвы, которая не приводит к загрязнению атмосферного воздуха, грунтовых, поверхностных вод, не оказывает негативного влияния на здоровье человека через сельскохозяйственную продукцию, выращенную на этой почве. Она будет считаться слабозагрязнённой при содержании вредного вещества меньше установленного на него ПДК, но в то же время имеется некоторое превышение фоновой концентрации. Для среднезагрязнённой почвы характерно

незначительное превышение ПДК при отсутствии в ней видимых изменений, в то время как в сильнозагрязнённой почве превышения ПДК значительные.

Биологическое загрязнение почвенного слоя создают макро-, микроорганизмы. Под первыми подразумеваются паразитарные черви и другие представители этого класса, которые способны нарушать функции кишечника, обменные процессы в организме человека. Микроорганизмы, попадая через сельскохозяйственную продукцию, выращенную на загрязнённой почве, приводят к таким инфекционным заболеваниям, как брюшной тиф, дизентерия, холера, столбняк, сибирская язва и т.п.

С целью защиты почвенного слоя от истощения предусматривается:

- размещение лесонасаждений по периметру сельскохозяйственных полей для предотвращения эрозионного разрушения;
- обработка полей структурообразователем;
- фитомелиорация пастбищных, неиспользуемых земель, склонов.

Защита почв от загрязнения обеспечивается реализацией ряда мероприятий:

- *литомониторинг* земель: постоянный санитарный надзор за состоянием почв путём отбора и анализа проб на наличие болезнетворных биологических организмов и регулярный контроль загрязнения химическими веществами. Это позволяет прогнозировать их состояние на определённую перспективу, разрабатывать организационно-технические решения по обеспечению их надлежащего состояния;

- создаются *кадастры* земель – перечни экономических, экологических, организационных и технических показателей, характеризующих количество и качество природного ресурса, состав и категории природопользователей;

- вносятся *минеральные удобрения*, применяются ядохимикаты в соответствии с разработанными и периодически корректируемыми нормами, сроками;

– *складирование, размещение отходов* допускается при наличии надлежащего обоснования и только с разрешения государственных природоохранных ведомств;

– выполняется *экспертиза проектной документации* перед началом строительства любого промышленного или иного объекта.

Довольно часто происходит загрязнение почв в результате размещения складских помещений, свалок растворимых, пылящих материалов. Последние в больших количествах образуются в виде *вскрышных пород* при добыче открытым способом топливных, рудных, нерудных материалов. Только в странах СНГ их ежегодное количество составляет около 800 млн м<sup>3</sup>. Для исключения техногенного воздействия на почвенный слой в целом на окружающую среду производится их частичная утилизация с получением ценных строительных материалов: мел, цемент, известь, керамзит и др. (рис. 4.2). Прочие крупнотоннажные твёрдые отходы, способные при хранении негативно влиять на почвенный слой, также большей частью подлежат утилизации.

Процесс жизнедеятельности человека сопровождается образованием значительного количества различных отходов. Наибольшим разнообразием по составу отличаются муниципальные, или так называемые твёрдые бытовые отходы (ТБО). Ежегодно в РФ их образуется не менее 300 кг на человека. При хранении на открытом воздухе они разлагаются с образованием определённого количества тепла, вредных веществ, в том числе диоксинов. Нередко происходит самовозгорание с выделением опасных дымовых газов.

Из зарубежного опыта ликвидации ТБО следует, что с позиций экологии и затрат на утилизацию наиболее перспективна раздельная сборка и последующая, с учётом химического состава, переработка. Органические компоненты могут направляться на *компостирование* – разложение (биоокисление). За счёт жизнедеятельности микроорганизмов по истечении определённой продолжительности формируется органическая биомасса с

большим содержанием питательных веществ, где присутствуют биогенные вещества в виде солей азота, фосфора.

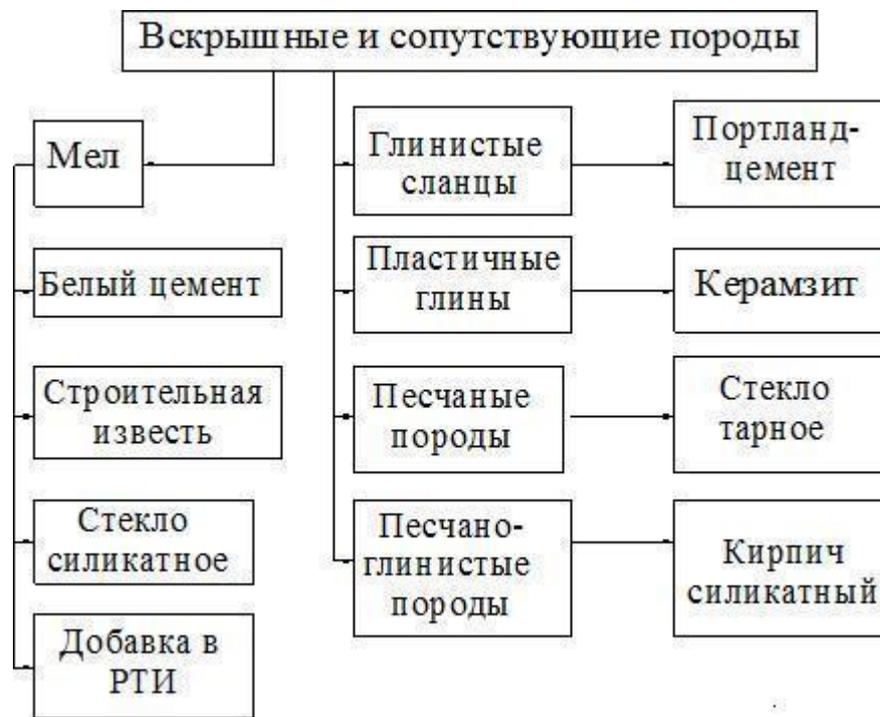


Рис.4.2. Вторичные ресурсы для производства строительных материалов

Процесс разложения экзотермический, т. е. с выделением тепла; температура достигает  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при которой гибнут присутствующие в органических отходах патогенные микроорганизмы.

При значительных объёмах выделенной из ТБО органической массы иногда применяется термическое обезвреживание – сжигание в специальных установках. Данный метод не рассматривается как перспективный, т.к. необходимы затраты на жидкое или газообразное топливо для поддержания необходимой температуры горения, а также на очистку образующихся дымовых газов, содержащих вредные вещества. Такое обезвреживание приемлемо в том случае, если имеется возможность утилизации тепла отводимых газов.

Достаточно высокая техногенная нагрузка на окружающую среду, наряду с ТБО, создаётся за счёт отходов сельского хозяйства (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Виды отходов и их санитарно-гигиенические характеристики

Наиболее опасные из них формируются в животноводческих комплексах. В виде жидкой фазы они содержат органоминеральные вещества, которые легко разлагаются с образованием аммиака, других токсичных газообразных и жидких веществ.

Менее опасны слаботоксичные растворимые в воде отходы ТЭС в виде золы, минеральных солей от производства удобрений, сульфаты лесопромышленного комплекса и др. Слаботоксичные летучие могут присутствовать в отходах химической, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности.

В группу инертных принято относить отходы, образующиеся в машиностроении при обработке металлов на различных станках. В теплоэнергетике они имеют место при добыче, сжигании каменного угля, горючих сланцев, торфа, в строительной промышленности – при измельчении, рассеивании каменных пород, в виде бракованных железобетонных изделий и т. п.

### 4.3. Утилизация промышленных отходов

Переработка природного сырья в ряде случаев сопровождается образованием большого количества отходов. В отдельных отраслях промышленности их количество превышает 50 % от используемого сырья. Как следует из приведённого выше рис. 4.3, они подразделяются по месту формирования, фазовому состоянию и по санитарно-гигиеническим характеристикам. Значительная часть промышленных отходов подлежит переработке – *реутилизации* с целью получения вторичных товарных продуктов.

Типичным представителем являются отходы угледобычи, углеобогащения, которые приемлемы для получения ценного компонента строительных материалов, входящих в состав *аглопорита*. Он используется в качестве добавки при выработке лёгкого пористого заполнителя бетонов. Названные отходы в виде кускового материала с размером до 150 мм подвергают измельчению в дробилке 1 (рис. 4.4). При дальнейшем размоле в мельнице 2 получают фракцию в пределах 0,5 мм, которая поступает в смеситель 3. После перемешивания в нём с водой тестообразная масса направляется в вакуумный пресс-гранулятор 4. Полученные гранулы сушатся в барабанной сушилке 5 при температуре около 125 °С, а затем направляются на термообработку, перемещаясь последовательно через каскадные печи 6. Нагрев гранул осуществляется за счёт тепла от сжигания жидкого или газообразного топлива и образующихся при этом горячих дымовых газов. На заключительной стадии в последней по ходу каскадной печи температура достигает 400 °С.

Твёрдых отходов ТЭС в виде золы и шлака, образующихся при сжигании каменного угля, только в странах СНГ ежегодно образуется до 70 млн т. В настоящее время для их частичной утилизации проработаны и применяются три направления (рис. 4.5). Наиболее материалоемкое – в качестве сырья для производства строительных материалов и в дорожном строительстве. В меньшей мере – шлак после размола и зола, имеющие щелочную реакцию, используются как реагенты – раскислители почвы сельскохозяйственных полей.

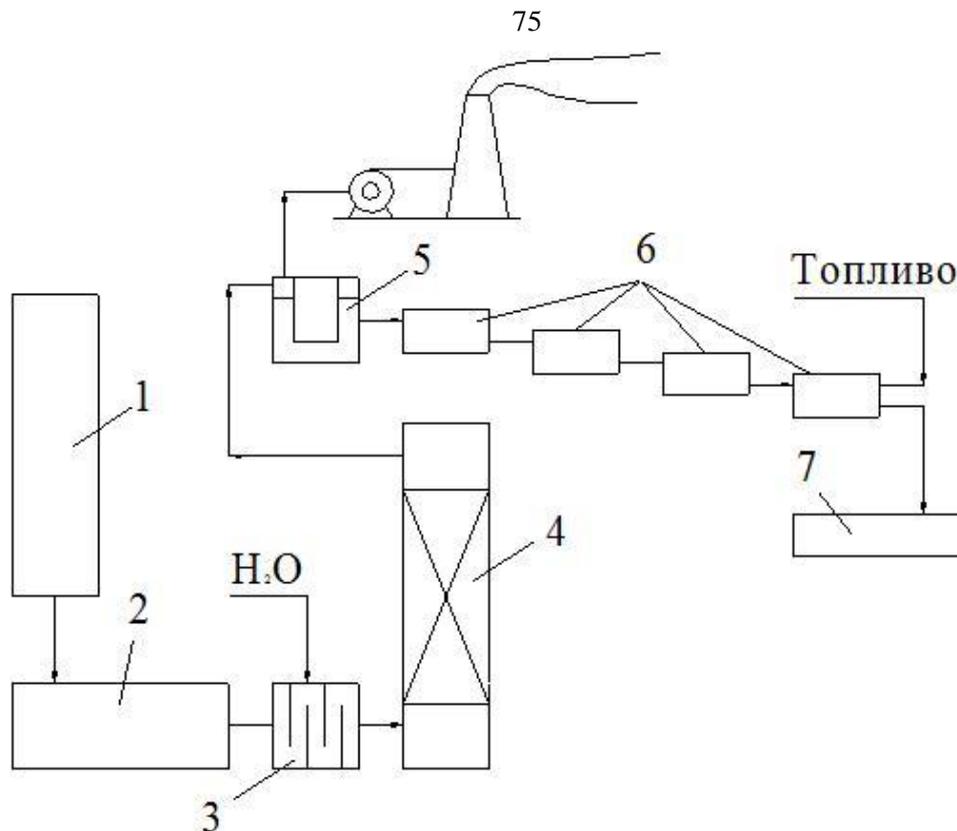


Рис.4.4. Принципиальная схема переработки твёрдых отходов минерального происхождения

Известно, что процесс активного подкисления почв происходит не только вследствие внесения минеральных удобрений, но и за счёт выпадения кислотных дождей. Вариант получения из названных отходов редких и рассеянных металлов менее приемлем из-за их незначительного выхода.

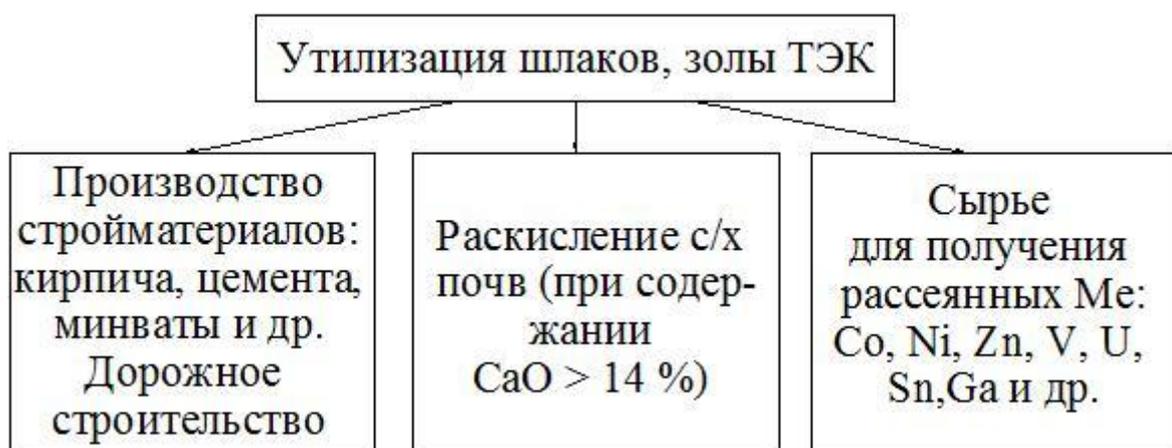


Рис. 4.5. Основные направления использования отходов теплоэнергетики

На предприятиях цветной металлургии в странах СНГ образуется до 200 кг шлаков, шлам, пыли на 1 т выплавляемого металла. Они содержат опасные для плодородного почвенного слоя соли железа, цинка, свинца. Способ

утилизации (рис. 4.6) зависит от процентного содержания металлов. Наиболее перспективен вариант их использования в качестве сырья в производстве строительных материалов. Извлекаемые при реализации второго варианта металлы используются в качестве добавок в различные сплавы.



Рис. 4.6. Варианты утилизации отходов предприятий цветной металлургии

В лесопромышленном комплексе твёрдые отходы составляют не менее 50 % от добываемой древесины. Основное количество в виде коры, сучьев, щепы, хвой остаётся в лесных массивах, общая площадь которых превышает 4 млн га. При длительном нахождении они негативно влияют на почвенный слой: интенсивно развиваются в нём целлюлозоразлагающие бактерии, потребляющие для своей жизнедеятельности почвенные биогенные элементы.

Под действием абиотических факторов происходит естественное разложение отходов лесозаготовки с выделением тепла, горючих парогазов, что является причиной самовозгорания, стихийных пожаров. Последние могут иметь место также на лесоперерабатывающих предприятиях при хранении опилок, стружек. На таких предприятиях часто образуются значительные количества древесной пыли, которые при достижении в воздушной среде определённых концентраций взрывоопасны. Эти отходы легко утилизируются как топливо (рис. 4.7).

Второе направление их утилизации – использование в качестве сырья строительной промышленностью: производят в больших количествах древесно-стружечные, древесно-волоконистые плиты, прессованные изделия.



Рис. 4.7. Использование отходов лесопромышленного комплекса

Химическая переработка древесных отходов требует достаточно сложного оборудования, сопряжена с применением легко воспламеняющихся жидкостей, выделением в производственные помещения горючих газов. Однако данный метод позволяет получать уникальные товарные продукты (кормовые дрожжи для животноводства, пищевую уксусную кислоту, этил-, бутилацетат, спирты, скипидар, канифоль, древесные смолы и др.), которые большей частью не имеется возможности вырабатывать из другого сырья.

#### 4.4. Обезвреживание, захоронение токсичных отходов

Промышленные отходы по степени опасности для окружающей среды подразделяются на четыре класса: *чрезвычайно опасные, высоко опасные, умеренно опасные и малоопасные*. К первому относятся радиоактивные отходы, и вещества, характеризующиеся как абсолютные яды: синильная кислота HCN, цианистый калий KCN. Второй класс включает, например соединения свинца, хлористой, серно-кислотной меди. В третий включены четырёххлористый углерод CCl<sub>4</sub>, хлорид никеля NiCl<sub>2</sub>, оксиды свинца PbO, PbO<sub>3</sub>, Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> и др. К малоопасным относятся соединения магния, фосфора, цинка и т.п.

Отходы 1–2-го класса опасности, как правило, не подлежат переработке – реутилизации из-за наличия технических трудностей – и направляются на *обезвреживание* – разложение с образованием простых веществ в виде паров воды, диоксида углерода и т.п. Другое направление – складирование на специально оборудованных полигонах, захоронение в подземных горизонтах или в специальных контейнерах на дне морей, океанов. Для обезвреживания применяются установки жидкофазного окисления, гетерогенного катализа, пиролиза, огневого (термического) окисления и др.

*Жидкофазное окисление* текучих органических отходов осуществляется кислородом воздуха при температуре в пределах 150–350 °С и давлении в аппарате 2–28 МПа (0,2–2,8 кгс/см<sup>2</sup>):



Образующиеся газообразные продукты поступают в атмосферу. Недостатком метода являются длительность процесса и необходимость использовать аппараты, работающие под давлением.

*Гетерогенный катализ* предусматривает применение твёрдых катализаторов при температуре 250–400 °С, т.е. реализуется процесс *термокаталитического* окисления жидких отходов, а при температуре 600–800 °С осуществляется *глубокое термокаталитическое* окисление. Катализатор довольно часто наносится в виде тонкой плёнки на поверхность инертного носителя – фарфоровые кольца Рашига, гранулы керамзита и т.п.

Обеспечивая высокую степень обезвреживания отходов, данный метод имеет определённые недостатки:

- высокая стоимость катализатора, изготовляемого обычно на основе тяжёлых металлов или их сплавов;
- требуется тщательный подбор катализатора для окисления конкретного загрязняющего вещества;
- имеется возможность нарушения функциональных свойств – «отравления» катализатора компонентами жидких отходов, на окисление которых он не рассчитан;
- необходимы дополнительные затраты на регенерацию дорогостоящего, как правило, катализатора, сравнительно непродолжительный срок его эксплуатации.

*Пиролиз* промышленных отходов осуществляется при высокой температуре (800–1000 °С) без доступа кислорода воздуха, т.е. выполняется сухой пиролиз, а с частичным сжиганием продуктов разложения – окислительный пиролиз.

Такой метод обезвреживания имеет свои недостатки:

- необходимо использовать дорогостоящие жаропрочные стали для аппаратного оформления или применять футеровку внутренних поверхностей огнестойкими материалами, например шамотным кирпичом;
- требуется поддерживать высокую и стабильную температуру процесса, т.е. возникают значительные затраты энергетического сырья. Кроме того, необходимы точные приборы контроля процесса;
- неприемлем для обезвреживания отдельных отходов, т.к. при разложении могут образовываться газообразные продукты, которые нередко содержат вредные вещества:



*Огневое* (термическое) *обезвреживание* применяется при отсутствии возможностей использовать другие методы утилизации (рис. 4.8).

Температура процесса в шахтных печах, циклонных топках может превышать 1 000 °С. Высота первых достигает 10–20 м, изготавливаются, как и

при аппаратурном оформлении гетерогенного катализа, из жаропрочных сталей. При сравнительно несложном техническом исполнении этот простой в эксплуатации способ имеет несколько существенных недостатков:

- значительный расход топлива (дизтопливо, природный газ и т.п.), что приводит к высокой стоимости процесса;
- малая производительность установок, не превышающая нескольких м<sup>3</sup> обезвреживаемых жидких отходов в час;
- использование форсунок для распыления жидких отходов в пламени горящего топлива выдвигает высокие требования к дисперсности механических примесей.

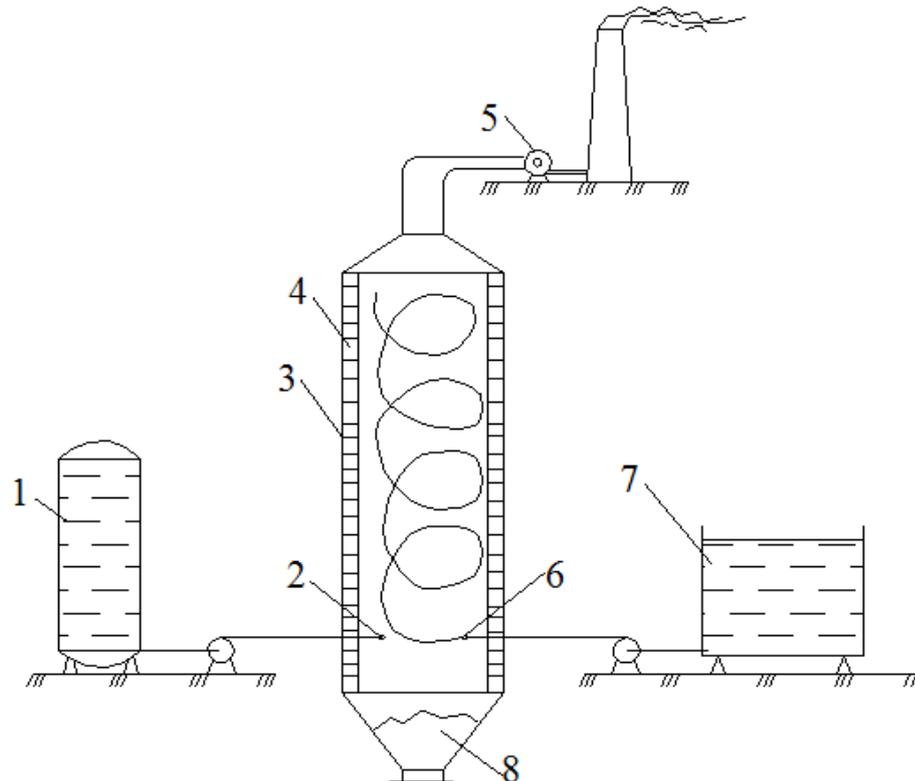


Рис.4.8. Принципиальное устройство топок для обезвреживания жидких отходов с высоким содержанием органических веществ:

1, 7 – ёмкости соответственно жидкого топлива, отходов; 2, 6 – форсунки; 3, 4 – металлический корпус и его теплоизоляция; 5 – вентилятор – дымосос; 8 – плав минеральных солей

При отсутствии возможностей обезвреживания промышленные отходы 1–2-го класса направляются на захоронение. С позиций экологической

безопасности наиболее приемлемо использование специальных, технически оборудованных *полигонов*. К их размещению, устройству предъявляется ряд обязательных требований:

- места расположения, проектная документация в обязательном порядке согласовываются с государственными природоохранными ведомствами;
- территория полигона размещается только с подветренной стороны по отношению к вблизи находящимся населённым пунктам;
- располагаются полигоны ниже водозаборов питьевой воды из поверхностных источников водоснабжения, рыбоводных мест, участков нереста, зимовальных ям;
- территория полигона должна иметь трудно-, слабофильтрующие грунты (глина, суглинки, сланцы и др.). При этом грунтовые воды должны находиться на глубине не менее двух метров от нижней отметки горизонта расположения отходов.

Для предотвращения негативного воздействия на окружающую среду, обеспечения безопасного хранения отходов предусматривается:

- складирование их на территории полигона в специальных бетонных емкостях с герметичными крышками;
- по его периметру размещается бетонированный канал. По краям канала с внешней стороны устраивается земляной вал шириной не менее 3,0–3,5 м и высотой 1,5–1,7 м. Они предназначены для перехвата поверхностных сточных вод – смывов с территории полигона. Граница полигона снабжается ограждением из колючей проволоки;
- создаётся санитарно-защитная зона между полигоном и ближайшими населёнными пунктами.

В отдельных случаях допускается *захоронение* (закачивание) жидких токсичных отходов в глубокие подземные поглощающие горизонты. Такой способ менее затратный, но приемлем при соблюдении целого ряда важнейших требований:

– места захоронения выбираются только в сейсмически устойчивых районах на основании тщательно проведённых геологоразведочных работ и обязательно согласовывается с соответствующими государственными природоохранными структурами;

– подземные поглощающие полости должны состоять из хорошо проницаемых песков, песчаников, известняков, имеющих приемлемые характеристики по пористости, проницаемости, приёмистости, трещиноватости и др.;

– каждый используемый подземный горизонт должен иметь непроницаемый экран, препятствующий проникновению из него или в него жидкости;

– закачиваемые отходы не должны иметь дисперсных включений.

Использование морских, океанических глубин для размещения отходов класса 1–2-го в герметичных, высокопрочных, устойчивых к коррозионному разрушению контейнерах, капсулах или других емкостях представляется как потенциально опасный техногенный фактор для будущего биосферы Земли.

#### 4.5. Рекультивация нарушенных земель при строительстве

При строительстве крупных промышленных объектов, населённых пунктов, железных дорог, автомагистралей, линий электропередач, добыче полезных ископаемых, нерудных материалов открытым, закрытым способом происходит *нарушение земель*. Под этим понимается изменение качественных характеристик почвенного слоя, гидрологического режима, образование техногенного рельефа в результате антропогенной деятельности. Такие земли не только не пригодны для функционирования, например эстетически приемлемого травянистого покрова, но и вследствие водной эрозии, дефляции легко разрушаются, изменяя ландшафт местности.

Для снижения негативного воздействия на местную экосистему производят перед началом строительства снятие плодородного почвенного слоя и складировать его в определённом месте до завершения работ. Объём  $Q$  и вес  $G$

удаляемого слоя грунта определяют в соответствии с нормативными документами или находят расчётным методом:

$$Q = S \cdot h, \text{ м}^3; \quad G = S \cdot h \cdot \rho \quad \text{т,}$$

где  $S$  – площадь строительной площадки,  $\text{м}^2$ ;

$h$  – толщина снимаемого почвенного слоя,  $\text{м}$ ;

$\rho$  – плотность почвы,  $\text{кг/м}^3$ .

После завершения строительства выполняется *рекультивация* нарушенных земель – комплекс работ, направленных на восстановление их продуктивности, обеспечение естественных условий состояния окружающей среды. Работы выполняются в соответствии со специально разработанным проектом, в котором учитываются природные условия региона, перспективы его развития, оптимальные варианты использования земель.

Рекультивация нарушенных земель выполняется в два этапа: выполняются инженерно-технические мероприятия, а затем ведутся работы по восстановлению биопродуктивности. Первый этап предусматривает планирование поверхности, сформировавшихся в процессе строительства террас, обеспечение устойчивости изготовленных откосов. Параллельно проводится утилизация вскрышных и других пород, отвалов. Для восстановления биопродуктивности нередко возникает необходимость частичного восполнения плодородного почвенного слоя. Затем вносятся в определённом количестве удобрения, производится посев трав в целях задернения, что позволяет одновременно противодействовать эрозионным процессам рекультивируемых земель.

#### 4.6. Малоотходные и безотходные технологии

Перспективное направление снижения техногенных нагрузок на окружающую среду – реализация малоотходных и безотходных технологий при выработке товарной продукции. При их внедрении решается не менее важная, актуальная задача – экономия природного сырья. *Безотходной* считается технология, в которой обеспечивается наличие минимального количества

каких-либо отходов, т.е. масса переработанного сырья  $M_c$  практически соответствует массе полученного товарного продукта  $M_{тп}$  :

$$M_c = \sum M_{тп} .$$

При современном уровне развития производственных процессов практически отсутствуют в так называемом «чистом» виде подобные технологии: всегда имеются определённые отходы, которые требуют применения дополнительных технологических схем их утилизации, очистки, обезвреживания. Наибольшее развитие получили *малоотходные* производственные процессы, в которых образуется определённое количество отходов  $M_{от}$ :

$$M_c = \sum M_{тп} + M_{от} .$$

Однако эти отходы приемлемы для использования в других технологиях для получения иных товарных продуктов.

Градация производственных процессов на безотходные и малоотходные осуществляется на основании расчёта безразмерного коэффициента  $K$ :

$$K = \sum M_{тп} / M_c .$$

В случае получения  $K = 1$  технологический процесс относят к безотходным, при  $K = 0,5 - 0,6$  он будет считаться малоотходным, а если менее  $0,5$  – многоотходным, или открытым.

Внедрение малоотходных технологий сопряжено с предварительным выполнением ряда мероприятий. Важнейшие из них следующие:

- производится, на основании предварительного изучения, выбор технологии, оборудования, обеспечивающих получение максимального количества товарной продукции из перерабатываемого природного сырья;
- разрабатывается чёткое обоснование выбора сырьевых ресурсов для производства запланированной к производству товарной продукции;
- на основании изучения современной экозащитной техники производится выбор наиболее эффективных схем извлечения ценных веществ из газопылевых выбросов, сточных вод. В случае отсутствия таких компонентов принимается надлежащая схема очистки этих отходов.

## Контрольные вопросы

1. Что понимается под естественными, антропогенными нагрузками на литосферу загрязнением, истощением почвенного слоя?
2. Охарактеризовать техногенные изменения в литосфере, возникающие при добыче природного топлива, рудных, нерудных материалов.
3. Привести классификации отходов по месту образования, токсичности, распространению от источника их образования.
4. Изложить требования к складированию, захоронению чрезвычайно и высокоопасных промышленных отходов.
5. Назначение, перечень и последовательность работ при рекультивации земель после завершения строительства.

## Рекомендуемая литература

1. Цветкова, Л.И. Экология: учеб. для студентов высш. и сред. учеб. завед. по техн. спец. и направлениям /Л. И. Цветкова, М. И. Алексеев, Ф. В. Кармазинов и др.; под общ. ред. Л. И. Цветковой. – М.: АСВ;СПб; Химиздат, 2001. – 550 с.
2. Ажгиревич, А. И. Экология: учеб. пособие для студентов вузов /А. И. Ажгиревич, В. В. Гутенёв, И. А. Денисов и др., под общ. ред. А. И. Ажгиревича. – Ростов н/Д.: Издат. центр «МарТ», 2006. – 767 с.
3. Потапов, А. Д. Экология: учеб. для студентов вузов по направлению «Строительство» /А. Д. Потапов. – М.: Высш. шк., 2002. – 446 с.
4. Вронский, В. А. Прикладная экология /В. А. Вронский. - Ростов н/Д.: Феникс, 1996. – 510 с.
5. Фирсов, А. И. Экология и строительное производство: учеб. для студентов вузов /А. И. Фирсов, А. Ф. Борисов, П. В. Макаров. – Н.Новгород.: ННГАСУ, 2012. – 123 с.

## 5. Энергетические загрязнения биосферы

### 5.1. Роль шума, вибрации в техносфере

Проблема акустического (шумового, параметрического) загрязнения окружающей среды в мегаполисах практически равнозначна загрязнению в них атмосферного воздуха, водных объектов. Повышенные уровни шума становятся одной из важнейших причин заболеваемости населения. Негативное воздействие шума на человека было известно ещё в средние века. Так, первые профессиональные заболевания из-за воздействия шума выявлены в XVI в. Парацельсом, а в 1700 г. описаны Бернардо Рамаццини на примере рудокопов, обнаружившего, в частности, снижение эластичности, подвижности барабанных перепонок под действием высоких уровней звуковых колебаний. В этот же период на территории развивающихся городов началась борьба с шумом: предписывалось, например, каменные мостовые у жилых домов покрывать соломой. Эдиктом (указом) короля Англии в XVII в. было запрещено создавать шум в период с 21<sup>00</sup> до 6<sup>00</sup>. В настоящее время сложилось научное направление *аудиология*, изучающее воздействие шума на человека.

*Шум*, с позиций физики, – сочетание звуков различной частоты и интенсивности. С физиологической точки зрения – любой нежелательный звук, оказывающий негативное воздействие на здоровье человека, которое проявляется не только в виде потери слуха, но и в первую очередь влияет на центральную нервную систему, сердечно-сосудистую деятельность, органы дыхания, вызывает головные боли, повышает утомляемость, резкое снижение работоспособности.

Основной источник шума на селитебной территории – рельсовые, колёсные, авиационные виды транспорта. Радикальный способ максимального снижения такого параметрического загрязнения – строительство сетей метрополитена как минимум среднего заложения. В случае мелкого заложения возникает не меньшая проблема – необходимо защищать от вибрации наземные здания, сооружения, расположенные в непосредственной близости или над линией метро.

Скорость распространения шума зависит от упругих свойств среды, её плотности: в воздухе – 331, воде – 1 481, бетонах – 4 000, металлоконструкциях – не менее 5 000 м/с. Акустические колебания, передаваемые по строительным конструкциям, называются структурным шумом. Наиболее болезненно воспринимается воздушный шум. В строительном производстве имеют место стационарные и передвижные источники шума. К первым относятся установки измельчения, дробления, рассева природного сырья, компрессорные, насосные, вентиляционные установки т.п.; к передвижным – все виды мобильных строительных машин, агрегатов.

Проблему защиты от шума стремятся решать непосредственно на стадии проектирования населённого пункта или промышленного объекта. Предусматривается, например, прокладка транспортных магистралей с интенсивным движением за пределами селитебной территории. При отсутствии такой возможности изучаются варианты устройства шумозащитных (шумоотражающих) экранов в виде лесных полос или специальных инженерных сооружений. Рассматриваются варианты рационального использования рельефа местности, внутриквартального расположения детских, медицинских, оздоровительно-профилактических учреждений и т.п.

Для снижения воздействия шума на проживающее население ведётся работа по улучшению состояния городских транспортных путей и средств передвижения; за пределы населённого пункта выносятся промышленные объекты с повышенным уровнем шума. В случае затруднений с их выносом устанавливается на таких предприятиях особый режим работы, не допускающий сверхнормативных уровней шума в вечернее и ночное время. Кроме того, в его перспективном плане будет обязательно учтена необходимость замены шумосоздающего оборудования или производства в целом на экологически приемлемое, шумобезопасное. На действующем оборудовании проводятся постоянные профилактические мероприятия, направленные на снижение шума.

В ряде случаев техногенное параметрическое воздействие проявляется в виде *вибрации* – механического колебания упругих тел с перемещением центра тяжести или оси симметрии. Основными источниками её в строительной промышленности служат виброуплотнители, виброплощадки, бетоносмесители, дозаторы, различный ручной инструмент с пневмо-, электроприводом и др. Негативное воздействие на человека проявляется в виде развития виброболезни: нарушается чувствительность кожного покрова, происходит активное отложение солей в суставах кистей рук, уменьшается упругость кровеносных сосудов, возникают нейрососудистые расстройства, нарушения сердечной деятельности, центральной нервной системы.

Защита от вибрации осуществляется применением технологического оборудования с минимальной вибрационной активностью или заменой всего процесса на равнозначный по конечному результату: виброформование на прессование бетонной смеси, вибромашины на ударные механизмы и т.д. Часто используется виброизоляция, вибропоглощение, виброгашение, т.е. снижают её на путях распространения.

## 5.2. Воздействие ионизирующих излучений

Литосфера Земли в верхних слоях и подземных горизонтах содержит определённое количество радионуклидов естественного происхождения, которые в сочетании с космическим излучением, строительными материалами зданий, сооружений создают радиоактивный фон местности. Величина его незначительная, и он не оказывает какого-либо негативного воздействия на окружающую среду, в том числе на человека.

В современных производственных процессах широко используются радионуклиды искусственного происхождения, образующие при искусственном распаде ядра  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - и рентгеновские лучи. Гамма- и рентгенокопия в строительной промышленности применяется для контроля качества железобетонных и других изделий, для определения степени износа деталей строительных машин, агрегатов, при дозировке сыпучих материалов, в

системах дистанционного, автоматического управления процессом выработки строительных изделий, для определения качественных характеристик грунтов и т. п.

При использовании искусственных радионуклидов не исключается возможность их нахождения в окружающей среде – специфическое параметрическое загрязнение. Наиболее опасными из них являются радиоизотопы  $U^{238}$ ,  $Cs^{137}$ ,  $Sr^{90}$  и ряд других. Потенциальными источниками могут быть нарушения в использовании соответствующего оборудования, приборов, а также неподдающиеся контролю отдельные виды отходов при добыче, переработке природного сырья, содержащего радиоактивные элементы. В определённых количествах они могут присутствовать в золе, шлаках ТЭС после сжигания некоторых марок каменных углей. При поступлении в почву названные и другие радиоактивные вещества длительное время в ней сохраняются и не вызывают каких-либо изменений. Однако они способны по трофической цепи через продукцию растениеводства, животноводства поступать в организм человека, создавать очаги поражения, приводить к онкологическим заболеваниям.

### 5.3. Техногенные изменения околоземного пространства

Околоземное космическое пространство (ОКП), состоящее из внешней сильно разреженной газовой оболочки Земли, активно участвует в сложных солнечно-земных взаимодействиях, в формировании условий жизни на Земле. Развитие космической техники сопровождается интенсивным освоением ОКП. Данное направление науки и техники является весьма актуальным и перспективным. В настоящее время современное общество не в состоянии обходиться без глобальной спутниковой связи, телевидения, биосферного мониторинга атмосферы, разведки недр, наблюдений с помощью спутников за ледовой ситуацией в Арктике, ледяным покровом Антарктиды, состоянием Мирового океана, земной поверхности и т.д.

Запуск космических кораблей, работа орбитальных станций сопровождаются параметрическим и ингредиентным загрязнением ОКП (соответственно шум, вибрация, тепловое воздействие и химические продукты при сгорании топлива). Влияние этих загрязнений оказалось весьма опасным и более существенным по сравнению с другими воздействиями на любой элемент окружающей среды. Это обусловлено тем, что количество газообразного вещества в ОКП значительно меньше и нагрузка на каждый его разреженный объём существенно увеличивается.

В перечень основных ингредиентных загрязнений входят:

- выбросы вредных веществ при работе ракетных двигателей;
- радиоактивное загрязнение и жёсткое излучение от ядерных энергетических установок, применяемых на космических аппаратах;
- поступления газов, паров, пыли, аэрозолей из верхних слоёв тропосферы.

От российской ракеты «Протон» в ОКП поступает примерно 100 т водяного пара и более 90 т диоксида углерода. Названные химические вещества активно реагируют с ионами кислорода *ионосферы*, что сопровождается снижением концентрации заряженных частиц, а в итоге – образованием «ионосферных дыр».

Параметрические загрязнения ОКП происходят за счёт энергетических и динамических возмущений при полёте ракет, перемещения их твёрдых фрагментов (отработавшие ступени, обтекатели и т.п.). Они формируют своеобразный космический мусор. Его количество на высоте более 400 км достигает 3 000 т. Наиболее крупные элементы внесены в специальный каталог, и за ними ведётся постоянное наблюдение. Имеется большое количество мелких (менее 10 см) предметов, которые вместе с крупными представляют реальную опасность для космических кораблей.

Снижение загрязнения ОКП возможно, по мнению специалистов, при ограничении количества запусков ракет и, что представляется наиболее перспективным, за счёт принципиального изменения технических средств, методов выведения космических кораблей на орбиты.

## Контрольные вопросы

1. Изложить причины акустического загрязнения окружающей среды и перспективные способы его предотвращения.
2. Что понимается под вибрацией и какие последствия возникают при её длительном воздействии на человека?
3. Пояснить происхождение искусственной радиации и её роль в техногенном воздействии на окружающую среду.
4. Какие ингредиентные и параметрические загрязнения создаются в среде обитания при воздействии акустических и ионизирующих излучений?
5. Охарактеризовать современное состояние околоземного пространства и его роль в биосферных процессах Земли.

## Рекомендуемая литература

1. Цветкова, Л. И. Экология: учеб. для студентов высш. и сред. Учеб. завед. по техн. спец. и направлениям /Л. И. Цветкова, М. И. Алексеев, Ф. В. Кармазинов и др.; под общ. ред. Л. И. Цветковой. – М.: АСВ; СПб, Химиздат, 2001. – 550 с.
2. Маринченко, А. В. Экология: учеб. пособие для студентов по техн. направлениям и спец. /А. В. Маринченко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд.-торговая корпорация «Дашков и К<sup>о</sup>», 2009. – 327 с.
3. Куклев, Ю. И. Физическая экология: : учеб. для студентов техн. вузов / Ю. И. Куклев. – М.: Высш. шк., 2003. – 357 с.
4. Потапов, А. Д. Экология: учеб. для студентов вузов по направлению «Строительство» /А. Д. Потапов. – М.: Высш. шк., 2002. – 446 с.
5. Пчелинцев, В. И. Охрана труда в строительстве /В. И. Пчелинцев, Д. В. Коптев, Г. Г. Орлов. – М.: Стройиздат, 1991. – 272 с.

## Заключение

Биосфера – саморегулируемая открытая система – испытывает значительное техногенное воздействие, которое сопровождается ингредиентным (химическим), параметрическим (физическим) и биологическим (биоценотическим) загрязнением. Возникшие экологические проблемы в виде кислотных осадков, образующихся смогов в приземных слоях атмосферы, флуктуационные изменения состояния озонового экрана, загрязнение водных объектов, почвенного покрова литосферы – в значительной мере результат экстенсивной хозяйственной деятельности. Не прекращается стацциально-деструкционное изменение ландшафтов в результате интенсивной добычи всех видов природного сырья, вырубки лесов, строительства крупных искусственных водохранилищ на равнинных реках, мелиоративных работ и т.п. Нарушения качественных характеристик биосферы влияют на круговорот веществ и соответственно на фотосинтез – важнейший процесс, обеспечивающий живые организмы Земли в необходимом количестве биомассой, скрытой в ней солнечной энергией, кислородом.

Реализация современных достижений науки и техники во всех отраслях промышленности, в том числе в строительном комплексе, позволяет обеспечить рациональное использование природных ресурсов, снизить техногенную нагрузку на важнейшие компоненты окружающей среды. Применение эффективных методов очистки газопылевых выбросов, производственных сточных вод, утилизация, обезвреживание жидких и твёрдых отходов – важнейшее направление в защите основных элементов биосферы.

## Предметный указатель

После термина приводится страница его первого упоминания в тексте, здесь же обычно приводится пояснение в соответствии с литературными источниками, указанными после изложения соответствующей главы учебного пособия

*Абразия* – 63; аглопорит – 74; ареал – 13; ассимиляция растениями – 11, водными объектами – 51; аутэкология – 14; аэрозоль – 26.

*Биогеоценология* – 15; биом – 9; биомасса наличная – 12; биотоп – 9; биоценоз – 9; биоэкология (общая экология) – 14.

*Взаимодействие* внутривидовое, межвидовое – 13; вибрация – 88.

*Геоэкология* – 15; гетеросфера – 23; гомеостаз – 9; гомосфера – 23.

*Диоксины* – 45; диссимилиация – 11.

*Загрязнение* почвы – 67; загрязнение биологическое (биоценотическое), ингредиентное, параметрическое – 21; зоны водоохранные – 57.

*Изменение* стационально-деструкционное – 21; инверсия – 25; инсоляция – 11; истощение почвенного слоя – 67.

*Карбоксигемоглобин* – 39; катализ гетерогенный – 78; конвенция Венская – 42; ксенобиотики – 44

*Метагемоглобин* – 39; металлы тяжёлые – 27; минерализация – 12

*Нарушение* земель – 82

*Обезвреживание* – 78; обезвреживание огневое – 79; объект водный, анаэробный – 51, аэробный – 51; окисление жидкофазное – 78, термokatалитическое – 78

*ПДК в почвенном слое* – 69; ПДЭН – 55; пирамида Ч. Элтона – 12; пиролиз отходов – 79; полигон отходов – 81; полифаги – 12; полоса прибрежная – 58; популяции географическая, экологическая, элементарная – 13; правила 10 %, 1 %, правило Р Линдермана (Р. Линдемана) – 12; продуктивность биологическая, валовая первичная, удельная, чистая – 13; продукция первичная валовая, чистая – 12; протокол Монреальский – 42.

*Равновесие* квазистационарное – 50; радиус индивидуальной активности – 13; рекультивация – 83; реутилизация – 46.

*Силикагель* – 41; синэкология – 14; смог – 25; слой плодородный почвенный – 66; способность ассимилирующая (водного объекта) – 51; стратификация атмосферы – 29.

*Техносфера* – 8; токсобность – 49; транспирация – 10.

*Характеристики* динамические, статические – 13.

*Фотосинтез* – 11.

*Шум* – 86.

*Эврифаги* – 12; эвтрофикация – 54; экология популяционная, прикладная, социальная, факториальная, человека – 14,15; эмиссия – 28; эффект синергический – 41.

Фирсов Александр Иванович  
Борисов Анатолий Федосеевич

## Экология техносферы

Учебное пособие

Редактор Н.А. Воронова

Оформление рисунков, текста: В.А., Забелин, П. В. Макаров, Ю. В. Кислицын,  
О. И. Костерина, Е. И. Снегова

Подписано в печать \_\_\_\_\_ Формат 60x90 1/16. Бумага газетная. Печать трафаретная.  
Уч.-изд. л.    Усл. печ. л.    Тираж 100 экз. Заказ №

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования

«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

603950, Н.Новгород, Ильинская, 65