

В.Е.Лотош

**Фундаментальные основы
природопользования**

КНИГА ВТОРАЯ

**ЭКОЛОГИЯ
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

БЕЛ-94

**Екатеринбург
2007**

Уральский государственный университет путей сообщения

В.Е.Лотош

Фундаментальные основы
природопользования

КНИГА ВТОРАЯ

ЭКОЛОГИЯ
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Екатеринбург
2007

УДК 502.1(075.8)
ББК 20.18я73-1
Л 804

Рецензенты:

научно-проектная фирма «ЭКО-ПРОЕКТ»;

Е.В.Мигалатий – заведующий кафедрой водного хозяйства и технологии воды УГТУ-УПИ, д-р техн. наук, профессор

Лотош В.Е.

Л 804 Экология природопользования. – Екатеринбург: 2007. – 554 с.

Книга является второй в «Фундаментальных основах природопользования». В ней рассмотрены глобальные проблемы современной экологии, стандарты качества окружающей среды, разработана классификация экологических дисциплин, изложены теоретические основы и технологии защиты окружающей среды от вещественных и энергетических загрязнителей.

Книга предназначена для студентов эколого-технических специальностей вузов и может быть полезна для специалистов различных отраслей народного хозяйства, интересующихся проблемами общей и прикладной экологии.

Рис. 61, табл. 35, литература 784 наим.

К 50-летию УрГУПС

Учебное издание

Лотош Валерий Ефимович

Фундаментальные основы природопользования

Книга вторая

**Экология
природопользования**

В авторской редакции

Компьютерный набор и верстка, оригинал-макет:
Лотош Л.С., Лотош Е.В.

Веб-сайт: <http://ecobooks.nm.ru>
e-mail: lotosh@ekonet.ru

Подписано в печать 14.12.06. Формат 60 x 84¹/₁₆. Гарнитура «Академия».
Печать офсетная. Уч.-изд.л. 35,85. Усл.печ.л. 33,32.
Заказ 1101. Тираж 250 экз. (1-й завод)

Отпечатано в цехе оперативной полиграфии
ОАО «Полиграфист»
620151, г. Екатеринбург, ул. Тургенева, 22.

Сведения об авторе

Окончание средней школы №9 г. Биробиджана с номинацией на золотую медаль (1955 г.), Иркутский горно-металлургический институт (1955-1960), Сталинский алюминевый завод, Красноуральский медеплавильный комбинат, институт «Унипромедь» в Свердловске (1960-1964), очная аспирантура УПИ по кафедре теории металлургических процессов (1964-1967), отдел окускования института «Уралмеханобр» (1969-1993), кафедра экономики природопользования Уральского государственного экономического университета (1993-2000), кафедра инженерной защиты окружающей среды (УрГУПС, с 2000 г).



Кандидат техн. наук (специальность «Металлургия цветных металлов», 1968), доктор техн. наук (специальности: «Металлургия черных металлов»; «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов»; 1991). Ученое звание ст. научного сотрудника по специальности «Металлургия черных металлов» (1977); ученое звание профессора по кафедре экономики природопользования (1995); диплом университета марксизма-ленинизма по философскому отделению (1963).

Автор свыше 230 опубликованных работ, преимущественно в изданиях первого списка, включая 7 книг (суммарно — более 170 п.л.), 39 изобретений, в том числе патентов США и Швеции.

Некоторые приоритетные научно-технические разработки:

непрерывное одностадийное конвертирование медных штейнов до черновой меди в трехслойной ванне (1960);

принцип и метод ускоренного твердения безобжиговых окатышей (1970);

научные и технические основы безобжигового окускования тонкодисперсных материалов с применением минеральных вяжущих (1970-1991);

концепция попутной утилизации отходов различного состава в крупнотоннажных индустриальных технологиях (1992);

критериальный анализ и ранжирование эколого-технологических процессов и мероприятий (с 1993);

логический анализ научно-технических предложений (1996);

о недостижимости безотходных технологий (2001);

о принципиальной неисчерпаемости природных ресурсов (2005);

Человечество не причастно к повышению уровня Мирового океана (2006);

экономическая самодостаточность пенсионеров (2004);

механизм отторжения результатов НТР на советском и постсоветском пространствах (2006);

Национальная идея: обратить вспять катастрофу депопуляции (2004).

Оглавление

Предисловие	3
Глава первая. Общие вопросы экологии	5
1.1. Небольшая планета Земля.....	5
1.2. Биосфера и ее развитие.....	8
1.3. Биогеохимический круговорот веществ.....	13
1.4. Понятие об экологии и ее структуре.....	19
1.5. Масштабы антропогенного давления на биосферу.....	25
1.6. Глобальные экологические проблемы.....	30
1.6.1. Парниковый эффект.....	30
1.6.2. Влияние аэрозолей.....	36
1.6.3. Повышение уровня Мирового океана.....	37
1.6.4. Разрушение озонового слоя.....	44
1.6.5. Нарушение круговорота кислорода.....	48
1.6.6. Перенаселенность планеты.....	48
1.7. Другие антропогенные изменения природной среды.....	50
1.8. Оценка состояния экосистем.....	55
1.8.1. Общие подходы.....	55
1.8.2. Классификация Н.Ф. Реймерса.....	56
1.8.3. Применение принципа Ле Шателье.....	59
1.8.4. Состояние природной среды и здоровье населения России.....	64
1.9. Концепция устойчивого развития.....	74
Глава вторая. Стандарты качества и основные загрязнители окружающей среды	83
2.1. Общие положения.....	83
2.2. Нормируемые показатели.....	85
2.2.1. Сущность и эволюция.....	85
2.2.2. Атмосфера.....	87
2.2.3. Водоемы.....	93
2.2.4. Почва.....	98
2.2.5. Пищевые продукты.....	100
2.2.6. Другие вещества.....	101
2.2.7. Нерешенные проблемы.....	101
2.3. Сравнение стандартов качества окружающей среды различных стран	104
2.4. Классы опасности загрязняющих веществ.....	105
2.5. Стандарты качества природной среды и здоровье населения.....	107
2.6. Действие основных загрязнителей.....	108
2.6.1. Общие представления и классификация	108

2.6.2. Химические загрязнители общетоксического действия....	115
2.6.2.1. Газовые и жидкие.....	116
2.6.2.2. Твердые аэрозоли.....	124
2.6.3. Специфические химические загрязнители.....	132
2.7. Перспективы альтернативной биоиндикационной системы контроля загрязнения окружающей среды	140

Глава третья. Защита атмосферы..... 144

3.1. Общие сведения.....	144
3.2. Пылеочистка отходящих газов.....	147
3.2.1. Пылеобразование и пылеподавление.....	147
3.2.2. Основные свойства пыли.....	149
3.2.3. Физические принципы и параметры пылеулавливания....	150
3.2.4. Пылеочистительная аппаратура.....	151
3.2.4.1. Пылеосадительные устройства.....	152
3.2.4.2. Пылеуловители центробежного действия.....	154
3.2.4.3. Фильтры.....	156
3.2.4.4. Электрофильтры.....	161
3.2.4.5. Мокрые пылеуловители.....	165
3.3. Туманоуловители.....	171
3.4. Методы улавливания и обезвреживания газовых примесей... 174	
3.4.1. Классификация.....	174
3.4.2. Физико-химические.....	175
3.4.2.1. Адсорбционные.....	175
3.4.2.2. Абсорбционные.....	177
3.4.2.3. Радиационно-химическое и ультрафиолетовое облучение.....	179
3.4.3. Химические.....	181
3.4.3.1. Жидкофазные.....	181
3.4.3.2. Газофазные.....	188
3.4.4. Биохимические.....	194
3.5. Рассеивание выбросов.....	196
3.6. Планировка предприятий и санитарно-защитные зоны.....	198

Глава четвертая. Защита водного бассейна..... 203

4.1. Общие вопросы водоснабжения.....	203
4.2. Водоотведение.....	209
4.2.1. Классификация сточных вод.....	209
4.2.2. Общая система канализации и количество сточных вод... 211	
4.2.3. Организация водоотведения промышленных предприятий 214	
4.2.4. Определение допустимого состава и степени очистки сточных вод.....	216

4.3. Методы очистки сточных вод.....	220
4.3.1. Классификация.....	220
4.3.2. Физические.....	221
4.3.2.1. Общие сведения.....	221
4.3.2.2. Процеживание.....	222
4.3.2.3. Отстаивание.....	223
4.3.2.4. Разделение в поле центробежных сил.....	229
4.3.2.5. Фильтрование.....	231
4.3.2.6. Другие методы.....	235
4.3.3. Химические.....	238
4.3.3.1. Нейтрализация.....	238
4.3.3.2. Окисление.....	240
4.3.4. Физико-химические.....	246
4.3.4.1. Коагуляция и флокуляция.....	246
4.3.4.2. Экстракция.....	252
4.3.4.3. Сорбция.....	254
4.3.4.4. Ионный обмен.....	256
4.3.4.5. Мембранные методы.....	260
4.3.4.6. Флотация.....	266
4.3.4.7. Ультрафиолетовое облучение и другие методы энергетического воздействия.....	270
4.3.5. Биохимические.....	275
4.3.5.1. Общие сведения.....	275
4.3.5.2. Природные условия.....	276
4.3.5.3. Искусственные условия.....	279
4.3.5.4. Направления интенсификации и стоимость биохимической очистки.....	288
4.4. Современные технологические схемы очистки воды.....	291
4.4.1. Сточные коммунальные.....	291
4.4.2. Питательные.....	297
Глава пятая. Процессы коррозии и эрозии.....	300
5.1. Коррозия металлов и сплавов.....	300
5.1.1. Общие сведения.....	300
5.1.2. Теоретические представления.....	301
5.1.3. Методы защиты.....	305
5.2. Коррозия неметаллических материалов.....	313
5.2.1. Искусственные неорганические строительные материалы... ..	314
5.2.2. Строительные материалы из древесины.....	319
5.3. Эрозионные процессы.....	321
5.3.1. Геологическая деятельность.....	321
5.3.1.1. Общие представления.....	321

5.3.1.2. Выветривание.....	322
5.3.1.3. Водная эрозия.....	324
5.3.2. Антропогенное воздействие.....	328
5.3.2.1. Факторы деградации почв.....	328
5.3.2.2. Почвозащитные мероприятия на сельскохозяйственных землях.....	339
5.3.2.3. Рекультивация земель.....	340
5.3.2.4. Очистка загрязненных почв.....	347
Глава шестая. Влияние энергетических полей и продуктов радиоактивного распада.....	355
6.1. Механические колебания и волны.....	355
6.1.1. Общие представления.....	355
6.1.2. Вибрация.....	356
6.1.3. Механические волны.....	359
6.1.3.1. Инфразвук.....	360
6.1.3.2. Акустические волны.....	361
6.1.3.3. Ультразвук.....	368
6.2. Электромагнитные волны.....	371
6.2.1. Общие представления.....	371
6.2.2. Ионизирующее излучение.....	372
6.2.2.1. Гамма-излучение.....	372
6.2.2.2. Рентгеновские лучи.....	374
6.2.3. Оптический диапазон.....	376
6.2.3.1. Сплошной спектр.....	376
6.2.3.2. Лазерное излучение.....	381
6.2.4. Радио- и низкочастотные волны.....	388
6.3. Радиоактивный распад.....	396
Глава седьмая. Обращение с отходами.....	401
7.1. Основные понятия.....	401
7.2. Централизованное размещение.....	402
7.2.1. Сбор и транспортирование отходов.....	402
7.2.2. Полигоны ТБО.....	409
7.2.3. Полигоны промышленных отходов.....	415
7.2.4. Заводская переработка ПО на полигонах.....	422
7.2.5. Захоронение в море.....	426
7.3. Локальное размещение.....	428
7.3.1. Поверхностные хранилища.....	428
7.3.2. Подземное захоронение.....	438
7.4. Экологические проблемы размещения отходов.....	441

Глава восьмая. Радиоактивные отходы.....	449
8.1. Определение, источники образования и классификация.....	449
8.2. Масштабы и проблемы радиоактивного загрязнения.....	452
8.3. Обращение с РАО.....	463
8.3.1. Сбор и удаление низко- и среднеактивных отходов.....	464
8.3.2. Технологическая обработка.....	466
8.3.3. Хранение и захоронение.....	475
8.4. Стратегические решения по захоронению высокоактивных долгоживущих радионуклидов.....	486
8.4.1. Общие представления.....	487
8.4.2. Перспективные инженерные решения.....	492
8.5. За и против атомной энергетики.....	502
Приложение.....	505
Основные сокращения.....	506
Литература.....	508

Предисловие

Предлагаемая книга — вторая в тетралогии о природопользовании. Первым в 1998 и последующих годах вышел учебник «Технологии основных производств в природопользовании».

По определению автора (1996 г), под природопользованием понимается отрасль материального производства и наука, решающие и исследующие проблемы удовлетворения материальных потребностей человеческого сообщества, необходимых для его нормального воспроизводства, интеллектуально-духовного развития в течение неопределенно долгого времени на базе ограниченных природных ресурсов, без деградации окружающей среды.

Понятие «экология природопользования», по-видимому, вводится впервые. Во всяком случае, оно не встречается в известных мне литературных источниках. Его определение необходимо дать, исходя из более широкого понятия «экология». Однако здесь возникают трудности, связанные с недостаточной определенностью последнего.

Анализ ряда известных формулировок понятия «экология», приводит к выводу, что все они принципиально разделяются на две группы. В первой экология рассматривается как биологическая наука, человек и его особое место в возникновении и решении экологических проблем не подчеркиваются. К другой группе относятся определения, в которых роль антропо́са (гр. *anthropos* — человек) в проблемах экологии признается центральной.

Представляется, что антропосный подход в большей степени объясняет причины все возрастающего внимания к экологии, перемещение ее в центр глобальных человеческих интересов. Массовое внимание к ней, масштабы ее проблем расширились по мере роста материального производства с его все более усиливающимся воздействием на окружающую среду. Только присутствие человека на земле породило экологические проблемы, и только он может их разрешить. В его отсутствие эволюционное развитие биосферы было синхронизировано с изменениями в геосфере и климатических факторах.

Исходя из изложенного, экологию можно определить как науку об антропосном воздействии на биосферу и ее ответных реакциях, потенциально или непосредственно опасных для человеческого сообщества. Далее на первом уровне логической классификации экология подразде-

ляется нами на общую (биоэкология, геоэкология) и прикладную, а последняя — на экологию глобальных кризисных проблем и экологию природопользования. Под экологией природопользования понимается научно-техническое направление, разрабатывающее конкретные управленческие, юридические, технологические, экономические и другие решения, улучшающие экологические параметры развития материального производства и коммунального хозяйства. В зависимости от того, для какой области человеческой деятельности разрабатываются решения, экологию природопользования можно разделить на промышленную, сельскохозяйственную, промысловую и быта.

Такое понимание экологии природопользования предопределило круг вопросов, излагаемых в данной книге. В ней, наряду с достаточно подробно рассматриваемыми проблемами общей экологии, стандартами качества и основными загрязнителями окружающей среды (гл. 1-2), освещаются вопросы, составляющие предмет собственно экологии природопользования (гл. 3-8). При этом ставилось целью рассмотреть последнюю в соразмерных по объему частях, охватывающих все ее разделы (защита воздушного и водного бассейнов, почв, проблемы коррозии и эрозии, влияние энергетических полей и продуктов радиоактивного распада, сбор и размещение отходов, включая радиоактивные).

В работе прежде всего излагаются и анализируются уже известные положения экологической науки. Однако в ряде случаев, касающихся недостаточно разработанных положений, дается их авторское понимание. Это, например, имеет место при рассмотрении таких вопросов, как понятие об экологии и ее структуре, применение принципа Ле Шателье к оценке состояния природных систем, антиантропоные сценарии в рамках концепции устойчивого развития, глобальные экологические проблемы.

Основное содержание предлагаемого учебника апробировано автором в лекциях по общей экологии, стандартам качества окружающей среды, технологиям природоохранных работ, экономике природопользования, прочитанных в 1994-2006 гг. в Уральском государственном экономическом университете, Уральском экономическом колледже и Уральском государственном университете путей сообщения.

Общие вопросы экологии

1.1. Небольшая планета Земля

Единственный дом человечества — планета Земля, входящая в Солнечную систему. Последняя состоит из одной звезды — нашего Солнца, восьми планет с их спутниками, а также тысяч астероидов, комет, мириад частиц космической пыли. Все это множество обращается вокруг нашего Светила (его диаметр 1392 тыс. км). Поперечник Солнечной системы равен $\sim 13 \cdot 10^9$ км. По многим параметрам Солнце является рядовой звездой. Некоторые звезды-гиганты в миллион раз больше и ярче его, однако другие — карлики — намного меньше по размерам и количеству излучаемой энергии.

Солнце и Солнечная система расположены в одном из гигантских спиральных рукавов Галактики, называемой Млечным Путем. На земном небосводе его наблюдают в виде белесоватой полосы неправильной формы, состоящей из сливающихся в сплошное сияние далеких от нас звезд. Наша Галактика содержит более 100 млрд звезд, межзвездные газ и пыль, вращающиеся вокруг ее центра. В частности, Солнце движется со скоростью около 250 км/с, совершая полный галактический оборот примерно за 180 млн земных лет. Поперечник Галактики составляет около 100 тыс. световых лет (один миллиард миллиардов километров). Ближайшая к Солнцу звезда Галактики — Альфа Центавра, свет которой доходит до нас за четыре земных года.

В свою очередь, наша Галактика — одна из миллионов других, составляющих обозримую часть Вселенной и простирающихся на ~ 12 млрд световых лет ($116 \cdot 10^{21}$ км). Ближайшей к нашей галактикой является туманность Андромеды — гигантское скопление звезд, удаленных от Земли на 1,5 млн световых лет.

В бескрайних просторах Вселенной Земля видится крохотным бело-голубым шаром, песчинкой в глубинах Мироздания, но для человечества она единственная обитель, колыбель и место упокоения почти всех землян. Прах лишь одного из них нашел последнее прибежище на Луне. Какая же она — наша обитель?

Земля — третья по удаленности от Солнца планета, отстоящая от него в среднем на 149,6 млн км. Свет проходит их за 8,5 мин. Вокруг Солнца Земля обращается за 365,25 суток. Средний радиус Земли, принимаемой за шар, 6371 км, длина ее окружности по экватору ~ 40 тыс. км, площадь поверхности 510,2 млн км², плот-

ность 5518 кг/м^3 . Среднегодовая температура воздуха у поверхности Земли равна $13,6^\circ\text{C}$.

Астрономы предполагают, что Земля вместе с другими планетами возникла около 4,6 млрд лет назад из одного сжимающегося газопылевого облака, из которого образовалось и Солнце.

В соответствии с современными научными взглядами, Земля представлена тремя слоями (сферами). Ее поверхностный слой называют *корой*, средняя толщина которой примерно 35 км. Исследована лишь ее верхняя часть (около 5% ее объема). На 47-49% она состоит из кислорода, на 27-28% — из кремния, на 8% — из алюминия. Они составляют основу песчано-глинистых минералов, доля которых в коре достигает 80-85%. Эти же элементы, а также железо, кальций, натрий, калий, магний, титан образуют 99,6% ее массы. На долю остальных 83 химических элементов в земной коре приходится только 0,4%. Открытые к настоящему времени самые древние породы имеют возраст, превышающий 4 млрд лет. В некоторых случаях в земной коре выделяют ее верхнюю часть — *литосферу*, а в последней — ее поверхность, называемую *почвой*. Почва подвержена процессам физического, химического и биохимического выветривания, содержит помимо минерального также и органическое вещество (живое и неживое).

Следующий за корой слой Земли толщиной около 2880 км известен как *мантия*. Предполагают, что она в основном сложена плотными силикатными породами.

Третий слой толщиной порядка 3500 км называют *ядром*. По видимому, оно состоит из внешнего жидкого слоя толщиной около 2080 км и твердой центральной части из никеля и железа при температуре $\sim 6400 \text{ K}$.

Земля окружена атмосферой, простирающейся в Космос. Ее первичный состав в период, предшествовавший возникновению фотосинтеза на нашей планете, существенно отличался от нынешнего и был аналогичен составу современной атмосферы Венеры, близкой к Земле по размерам и расстоянию до Солнца (*Войткевич*), %:

Атмосфера	N_2	O_2	$\text{Ar} \cdot 10^{-6}$	CO_2
Современная Земли	78	21	9000	0,03
Первичная Земли	1,5	Следы	190	98
Современная Венеры	1,8	Следы	200	98

Первичная атмосфера Земли, существовавшая свыше 4 млрд лет тому назад, помимо диоксида углерода и элементарного азота могла содержать также аммиак NH_3 и метан CH_4 , пары воды. Современная атмосфера планеты по составу относится к азотно-кислородному типу и этим качественно разнится от газовых оболочек всех известных ныне

небесных тел, включая планеты Солнечной системы. Состав ее сильно отличается от вулканических газов, за счет которых она возникла в далеком прошлом. Это свидетельствует о том, что в геологической истории Земли имели место мощные процессы, изменившие состав ее газовой оболочки (выделения из горных пород при формировании металлического ядра планеты, химические процессы в атмосфере под воздействием ультрафиолетовой радиации и др.).

Атмосфера подразделяется на несколько зон: тропосферу, стратосферу, мезосферу, ионосферу и экзосферу.

Тропосфера — нижняя часть атмосферы. В ней сосредоточено более 80% всей массы воздуха. Ее высота определяет интенсивность вертикальных (восходящих и нисходящих) потоков воздуха, вызванных нагреванием земной поверхности (на экваторе до высоты 16-18 км, в умеренных широтах — 10-11км, на полюсах — до 8 км). Тропосфера характеризуется понижением температуры воздуха с высотой — в среднем на 0,6 К через каждые 100 м.

Стратосфера располагается выше тропосферы, до высоты 50-55 км, и отличается повышением температуры у ее верхней границы. Это связано с наличием здесь пояса озона O_3 , интенсивно поглощающего световое излучение ультрафиолетового спектра. Одновременно озоновый слой защищает поверхность Земли от губительного воздействия этой части излучения Солнца (разд. 1.6.4).

Верхняя граница *мезосферы* простирается до высоты 80 км. В ней наблюдается резкое понижение температуры (до $-75 \div -90^\circ C$) и образование серебристых облаков, состоящих из ледяных кристаллов.

Ионосфера (термосфера) достигает высоты 800 км. Для нее характерно значительное повышение температуры (до $1000^\circ C$ и более). Под прямым воздействием ультрафиолетового излучения газ здесь присутствует в ионизированном состоянии, что способствует многократному отражению радиоволн, обеспечивающих дальнюю радиосвязь на Земле.

Экзосфера находится на высоте от 800 до 2000-3000 км и имеет температуру свыше $2000^\circ C$. Скорость движения газов в ней приближается к критической (11,2 км/с). Они представлены в основном водородом и гелием, образующими вокруг Земли корону, простирающуюся до высоты 20 тыс. км.

Атмосфера играет исключительную роль в жизни Земли, обеспечивая протекание важнейших биологических процессов в мире животных и растений.

Большую часть поверхности нашей планеты занимает *гидросфера*, включающая все типы водоемов. В наиболее общем виде гидросферу делят на Мировой океан, континентальные и подземные воды.

В Мировом океане сосредоточена основная масса воды. Его средняя глубина составляет 3,7 км, он занимает площадь, равную 361 млн км² (71% поверхности земного шара), и отличается высокой соленостью (~3,5%). Континентальные водоемы покрывают около 5% площади Земли. Из них на долю поверхностных вод (озера, реки, болота и т.д.) приходится весьма малая часть (~0,2%), ледников, подземных вод — по 1,7% общего объема гидросферы. Весь планетный запас воды достигает 1450 млн км³.

Гидросфера тесно связана с литосферой (подземные воды), атмосферой (пары воды) и живым веществом, в состав которого вода входит в качестве обязательного компонента. Она выступает в роли универсального растворителя практически всех веществ, взаимодействует со многими из них, но, как правило, не вступает с ними в химические реакции. Это взаимодействие обеспечивает обмен веществ, например между сушей и океаном, организмами и окружающей средой.

Кроме названных, выделяют еще одну весьма своеобразную оболочку Земли, которую называют биосферой.

1.2. Биосфера и ее развитие

Биосфера — это область распространения жизни на Земле, охватывающая несколько населенных организмами геосфер: тропосферу, гидросферу и часть литосферы (до ~3 км). Биосфера представляет собой устойчиво неравновесную систему, в которой обмен веществ и энергии осуществляются главным образом в процессе жизнедеятельности организмов.

Впервые понятие «биосфера» (гр. *bios* — жизнь и *sphaira* — шар) введено в биологию французским натуралистом Ж.-Б. Ламарком (1802 г.), а затем в геологию — австрийским ученым Э. Зюссом (1875 г.).

В.И.Вернадский назвал биосферой оболочку Земли, в формировании которой живые организмы играли и играют основную роль. Он отмечал, что биосфера состоит из нескольких типов веществ: биогенного, косного, биокосного и живого. *Биогенное вещество* — геологические породы (уголь, нефть, известняк и др.), созданные деятельностью живых организмов и служащие мощным источником энергии. *Косное вещество* образовано в ходе процессов без участия живых тел. *Биокосное вещество* — результат взаимодействия живых и косных начал (кора выветривания, почва, природные воды и т.п.).

Наиболее сложным является понятие «живое вещество», определение которого далеко от единообразного. Суммируя взгляды различных ученых, можно полагать, что к основным признакам живого относятся:

воспроизведение себе подобных; постоянство гомеостаза, т.е. внутренней среды организма; непрерывный обмен веществом и энергией с окружающей средой (открытые системы); сложный органический состав вещества, быстро распадающегося на простые соединения после смерти организма.

Четкой границы между живыми и неживыми субстанциями нет, что подтверждается существованием вирусов. Последние обладают признаками как живого, так и неживого. Общепринятого определения для них пока не сформулировано. Обычно полагают, что вирусы — это наименее организованные формы жизни, не обладающие собственным обменом веществ и способные существовать только внутри клеток других организмов. Вне клеток они не размножаются. Вместе с тем способность вирусов воспроизводиться, хотя бы и в контакте с другими клетками, является признаком живого.

Точного ответа на вопрос, как возникла жизнь на Земле, наука еще не имеет. Наиболее распространенная теория (космической эволюции) следующим образом объясняет появление живых организмов.

Около 4 млрд лет тому назад основными элементами земной атмосферы были газообразные соединения оксидов углерода, азота, водорода, метан, аммиак. Космические лучи и грозы в некоторых случаях сообщали им энергию, достаточную для их соединения в более сложные углеродсодержащие *органические молекулы*, например аминокислот, являющихся основной составляющей построения растительных и животных белков. По мере роста концентрации органических веществ происходили все более частые столкновения между ними в земных морях и Океане. Часть из них заканчивалась образованием еще более сложных молекул.

Следующий предполагаемый этап на пути возникновения жизни — появление *протоклеток*. Выдающийся советский биохимик А.И.Опарин показал, что в стоящих растворах органических веществ образуются кооцерваты — микроскопические «капельки», ограниченные полупроницаемой оболочкой — первичной мембраной. В них могут концентрироваться органические вещества, быстрее идут реакции и обмен веществ с окружающей средой; они даже могут делиться, как бактерии. Подобный процесс при растворении искусственных протеиноидов наблюдал Фокс, назвавший эти капельки микросферами.

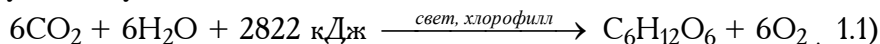
Живое вещество возникло тогда, когда, все более и более структурируясь, сложные органические вещества, а затем и протоклетки достигли уровня клеточного строения. Клетка — это система, состоящая из биополимеров, а также содержащая малые органические и неорганические молекулы. Клетки отделены от окружающей среды и друг от друга тонкой поверхностной пленкой-мембраной. Главными

их свойствами являются самовоспроизведение, постоянный обмен веществом и энергией с внешней средой и структурная обособленность от последней.

По прошествии 1 млрд лет от возникновения Земли первыми ее обитателями стали *прокариоты* — организмы без оформленного клеточного ядра, похожие на современных *бактерий*. Они были *анаэробами*, т.е. не использовали для дыхания свободный кислород, которого еще не было в атмосфере. Источником пищи (энергии) для них являлись органические соединения, а также восстановленные неорганические вещества (сера, сероводород, железо и т.д.).

Сравнительно рано возник и *фотосинтез* — процесс поглощения организмами световой энергии Солнца с преобразованием ее в химическую энергию. Первыми фотосинтетиками также были бактерии, но в качестве источников ионов водорода (протонов) они использовали не воду, а сероводород H_2S или органические вещества.

Около 3,2 млрд лет назад одна из групп прокариот (цианобактерии) выработала современный, кислородный, механизм фотосинтеза с участием углекислого газа и воды:



При реализации процесса (1.1) образуются сахараиды и в атмосферу выделяется кислород, используемый затем животными и растениями в процессах дыхания, а также, после их гибели, на окисление мортмассы. Однако рост биомассы привел к повышению концентрации O_2 в атмосфере. Не исключено, что значительная часть кислорода могла выделиться из горных пород при формировании металлического ядра Земли.

Независимо от причин оксигенизация атмосферы имела важное значение для последующей эволюции жизни. Выделяющийся кислород в верхних слоях атмосферы под действием ультрафиолетовых лучей превращался в озон (разд. 1.6.4). Озоновый слой надежно защитил поверхность Земли от жесткого спектра солнечного излучения. *Кислородное дыхание*, т.е. использование кислорода для окисления органических веществ с освобождением энергии, необходимой для жизнедеятельности клеток, оказалось энергетически более выгодным, чем бескислородный путь получения энергии клетками. Это способствовало возникновению более крупных и сложно устроенных клеток — *эукариотов*, имеющих оформленное ядро — носитель генетической информации. Обычно считают, что появление эукариотов (простейших, одноклеточных водорослей и грибов) произошло 1,5 млрд лет назад. Тогда же появились первые многоклеточные, постепенно развившиеся до современных форм флоры и фауны.

Таким образом, биосфера с начала возникновения развивалась в направлении увеличения разнообразия видов, усложнения их организации, роста биомассы. В наше время на Земле известно более 2 млн видов организмов, из них растительных — около 500 тыс., животных — более 1,5 млн. Общая биомасса планеты оценивается величиной $2,4 \cdot 10^{12}$ т, из них доля континентальной растительности равна 99,2%, животных и микроорганизмов суши — 0,8%. На живое вещество океанов приходится всего лишь $3,2 \cdot 10^9$ т, в которых животные и микроорганизмы составляют 93,7%.

Последние данные науки существенно расширяют наши представления о границах биосферы. Обнаружено, что споры бактерий и мицелий некоторых грибов не теряют жизнеспособности в условиях высокого вакуума (10^{-11} мм рт. ст.). Бактерии обнаружены в водах атомных реакторов, часть из них выдерживает облучение порядка 2-3 млн рад. При температурах жидкого воздуха, гелия, водорода ряд бактерий остаются живыми. Даже отдельные высшие растения и насекомые переносят температуру, приближающуюся к абсолютному нулю ($-273,16^\circ\text{C}$). Живые бактерии, способные к размножению, обнаружены в нефтяных водах на глубине 2800 м, на дне океанов (11 км), в рассолах с концентрацией 250 г/л, при давлениях, равных 1000 атмосфер, после 5 суток кипячения, 150-250 лет анабиоза (*Ковда*). Тем не менее обычно считают, что биосфера как область жизни охватывает верхнюю часть литосферы, всю гидросферу, тропосферу и нижние слои стратосферы до 25 км в высоту. Повседневные реальные границы распространения живого являются более узкими.

Развитие живого в биосфере существенно изменило и ее неживое вещество. Помимо появления в атмосфере свободного кислорода, а в ее верхних слоях — озонового слоя, в отложениях угля и известняков консервируется углекислота, извлеченная организмами из воды и воздуха. Также надолго выключен из биохимического кругооборота ряд других веществ в залежах полезных ископаемых. Живые организмы принимают активное участие в процессах выветривания горных пород. Выделяя углекислоту, органические и неорганические кислоты, они способствуют миграции химических элементов. Постепенно эти процессы привели к образованию биогенного и биокосного вещества биосферы.

Резюмируя, в предыдущем развитии биосферы можно выделить несколько этапов. Первый характеризуется усложнением состава и структуры косного вещества с образованием органических соединений и возникновением на их основе простейших форм жизни (одноклеточных организмов). Второй сопровождается формированием многоклеточных организмов и дальнейшим усложнением форм жизни. Третий

этап связан с появлением человека и превращением его из обычного биологического вида в биосоциальное существо.

Однако этими этапами развитие биосферы не заканчивается. В настоящее время «на наших глазах совершается... переход от эволюции, управляемой стихийными биологическими факторами (период биогенеза), к эволюции, управляемой человеческим сознанием, к периоду *ноогенеза*» (Камшилов). Другими словами, речь идет о постепенном переходе биосферы в качественно новое состояние — *ноосферу* (гр. *noos* — разум и *sphaira* — шар).

Понятие о ноосфере введено в употребление Е. Ле Руа и П. Тейяром де Шарденом в 1927 г. Под ней они понимали особый, надбиосферный, «мыслительный пласт», который окутывает планету». В настоящее время под ноосферой понимается такое состояние биосферы, когда *разумная* деятельность человека становится главной силой, обуславливающей ее развитие.

Решающий вклад в современное понимание ноосферы внес в 30-40-х годах прошлого века В.И.Вернадский. Он писал: «Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней человек впервые становится крупной геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше».

При переходе биосферы в ноосферу перед человечеством возникает огромная по масштабам и значению задача — научиться сознательно регулировать взаимоотношения общества и природы, обеспечить их органическое развитие, не ограниченное во времени. При этом *ноогенез* — этап становления ноосферы — предполагает развитие не только биосферы и общества, но и каждой отдельной личности.

Для преобразования биосферы в ноосферу требуется выполнить ряд условий. В частности, необходимо, чтобы человечество стало единым целым и по уровню развития производительных сил перешло на стадию постиндустриального развития (информационное общество). Ноосфера предусматривает социальное равенство всех членов общества и удовлетворение всех их потребностей, нужных для непрерывного духовного и культурного развития личности. Человечество должно овладеть также колоссальными источниками энергии, необходимыми для перестройки окружающей среды. И наконец, уровень науки должен быть столь высоким, чтобы позволить людям осмысленно управлять природными и социальными процессами, предугадывая все возможные последствия своих действий.

Зародившись на Земле, ноосфера, по мере освоения человеком околозвездного пространства, превратится, по В.И.Вернадскому, в особый структурный элемент Космоса.

1.3. Биогеохимический круговорот веществ

В современных научных концепциях биосфера рассматривается не только как пространство, занятое жизнью, но и как целостная функциональная система, на уровне которой реализуется неразрывная связь геологических и биологических процессов.

Условием существования и дальнейшего развития биосферы является круговорот биологически важных веществ. Имеется в виду, что после использования они вновь должны переходить в усвояемую для других организмов форму. Этот переход биологически важных веществ из звена в звено можно осуществлять только при определенных затратах энергии, источником которой служит Солнце.

Солнечная энергия обеспечивает на Земле два круговорота веществ: геологический, или большой, и малый, биологический (биотический).

Геологический круговорот четко проявляется на примере круговорота воды и циркуляции атмосферы. По оценкам, до половины поступающей от Солнца энергии расходуется на испарение воды. Ее испарение с поверхности Земли компенсируется выпадением осадков. При этом из Океана воды испаряется больше, чем возвращается с осадками, а на суше происходит обратное — осадков выпадает больше, чем испаряется воды. Излишки ее стекают в реки и озера, а оттуда — снова в Океан. В процессе геологического круговорота неоднократно изменяется агрегатное состояние воды (жидкая; твердая — снег, лед; газообразная — пары). Наибольшая циркуляция ее наблюдается в паробразном состоянии. Наряду с водой в геологическом круговороте в масштабах всей планеты с одного места в другое переносятся иные минеральные вещества.

С появлением живого начала на базе геологического, или абиотического, круговорота возникает *биологический круговорот*. По определению Н.П.Ремизова, Л.Е.Родина и Н.И.Базилевич с дополнениями Н.Ф.Реймерса, под биологическим круговоротом понимается поступление химических элементов из почвы и атмосферы в живые организмы, вхождение их в новые сложные соединения с последующим возвращением в почву и атмосферу, а также в воду в процессе жизнедеятельности (с ежегодным опадом части органического вещества или с полностью отмершими организмами, входящими в состав биогеоценоза). По мере развития живой материи в биохимический оборот вовлекается все большая часть элементов. И хотя он часть геологического, но скорость его в сотни тысяч, в миллионы раз больше, так как все биохимические пре-

вращения ускоряются биокаталазой (*ферментами*), которая на несколько порядков активнее неорганических катализаторов.

В отличие от простого перемещения неорганических веществ в большом круговороте, в малом круговороте наиболее важным являются *синтез и разрушение* органических соединений, лежащие в основе жизни и составляющие одну из главных ее особенностей.

Перенос вещества и энергии в биологическом обороте осуществляется в основном по трофическим (*пищевым*) цепям.

Первое звено в них составляют *автотрофные организмы*, или *продуценты* (зеленые водоросли и растения, др.). Они с помощью фотосинтеза способны создавать все необходимые для жизни организма вещества из исходных неорганических соединений.

Автотрофные организмы служат *пищей* (источником энергии) и первоначальным материалом, обеспечивающими существование *гетеротрофных* организмов. К ним относятся *консументы* (потребители) и *редуценты* (восстановители). Для консументов единственным источником питания являются автотрофы (для растительноядных животных) или другие организмы (для плотоядных животных). В процессе жизнедеятельности консументы потребляют также кислород и выделяют углекислый газ. Редуценты подразделяются на *сапрофаги* и *сапрофиты*. Сапрофаги питаются мортмассой — мертвым органическим веществом, органическими остатками (гниены, грифы, некоторые ракообразные, личинки мух и т.д.). Сапрофиты (большинство грибов и микроорганизмов) питаются органическими веществами (экскременты, слизь и т.п.), выделяемыми другими организмами. В целом редуценты способствуют минерализации органического вещества, его переходу в состояние, усваиваемое продуцентами, и являются завершающим звеном биологического круговорота.

Таким образом, с момента возникновения на Земле живой материи химические элементы непрерывно циркулируют, переходя из внешней среды в организмы и опять во внешнюю среду. Такая циркуляция по более или менее замкнутым путям называется *биохимическими циклами*. Основные из них — круговорот углерода, азота, воды, кислорода, фосфора, серы и биогенных элементов.

Круговорот углерода. Этот элемент существует в природе в различных неорганических и органических формах. В основе его биологического круговорота лежит диоксид углерода. В природных условиях он присутствует в атмосфере и в растворенном состоянии — в гидросфере. Включение углерода в органические вещества реализуется в процессе фотосинтеза (реакция 1.1), при котором возникают сахараиды. Последующие процессы биосинтеза преобразуют сахараиды в более сложные углеводы (крахмал, гликоген), а также в протеиды, липиды

и др. Все эти соединения не только формируют ткани фотосинтезирующих организмов, но и служат источником органических веществ для животных и незеленых растений.

Все организмы при дыхании окисляют сложные органические вещества. Конечный продукт этого процесса (CO_2) поступает во внешнюю среду, где вновь вовлекается в фотосинтез.

Ткани мертвых организмов подвергаются разложению редуцентами. Как следствие, углерод в виде углекислого газа также вновь вовлекается в круговорот. Этот процесс составляет сущность так называемого *почвенного дыхания*.

В некоторых случаях цепь разложения органических веществ бывает неполной. В частности, в почве деятельность сапрофагов может подавляться недостатком кислорода или повышенной кислотностью. В этом случае органические остатки накапливаются в виде торфа и углерод в форме CO_2 не высвобождается. Аналогичным образом в прошлые геологические эпохи образовывались залежи каменного угля и нефти.

В гидросфере приостановление круговорота углерода связано с включением CO_2 в состав CaCO_3 (известняк, мел, кораллы). В данном варианте углерод выпадает из кругооборота на целые геологические эпохи и не включается в понятие биосферного. Однако поднятие органогенных пород выше уровня моря приводит к возобновлению круговорота углерода за счет выщелачивания известняков и им подобных пород атмосферными осадками, а также биогенным путем — воздействием лишайников, корней растений.

Процесс захоронения органического углерода в осадочных породах охватывает 1/10000 часть биологической продукции биосферы и обеспечивает постоянство концентраций кислорода и углекислого газа в последней. При этом выводимый из биосферы углерод с точностью до 3-4 значащих цифр компенсируется потоком неорганического углерода из земных недр в окружающую среду.

В современном круговороте углерода все большее значение приобретает возрастающее по масштабам сжигание органических веществ с выделением CO_2 в атмосферу. Однако во всем объеме ископаемого топлива (угля, нефти, природного газа) содержится лишь тысячная часть общего углерода осадочных пород.

Полагают, что полный цикл круговорота CO_2 занимает 300 лет.

Круговорот азота. Атмосферный молекулярный азот служит основным источником для перевода азота в состав сложных органических веществ. Предварительно он переходит в доступные живым организмам соединения. Это может происходить различными путями, например при фотохимической фиксации азота или при грозах с образованием смеси NO_x оксидов азота. Последние с дождевыми водами попадают в почву

в виде селитры (нитратов аммония, натрия, калия, кальция и др.) или азотной кислоты. Далее азот в результате деятельности азотфиксирующих микроорганизмов переводится в сложные органические соединения — протеиды. Они представляют собой соединения белков (протеинов) с небелковыми веществами, например с углеводами или жироподобными. Азот наиболее эффективно фиксируется бактериями, находящимися в симбиотической связи с бобовыми и другими растениями. Далее он в органической форме диффундирует в ризосферу (часть почвы, непосредственно соприкасающуюся с корнями растений) и затем включается в наземные органы растения, где и используется для синтеза протеинов. Последние являются основой азотного питания животных.

Экскреты и мертвые организмы служат питанием для редуцентов, превращающих органические азотсодержащие вещества в неорганические.

Разложение азотсодержащих веществ (белков) протекает в два этапа. На первом под влиянием аэробных и анаэробных микроорганизмов белки расщепляются с выделением содержащегося в них азота в виде NH_3 (стадия аммонификации) и образованием пептонов (продуктов первичного распада белков), а затем аминокислот. Последующее окислительное и восстановительное дезаминирование и декарбонирование приводят к полному распаду пептонов и аминокислот. Длительность первого этапа составляет от одного до нескольких лет. На втором этапе NH_3 окисляется сначала до HNO_2 , а затем до HNO_3 . Окончательное возвращение азота в атмосферу происходит под действием бактерий — денитрификаторов, которые разлагают нитраты молекулярного азота. Продолжительность периода минерализации составляет 30-40 лет и более.

Некоторые процессы, например аккумуляция в глубоководных осадках океана, прерывают круговорот азота. Процесс тления может совсем не начаться и при недостатке кислорода, большом количестве воды (глинистые влажные почвы), когда имеет место омыление трупов. Эту же прерывность наблюдают в сухом грунте (мумификация трупов). В последние годы выявлено, что на процесс минерализации азотных соединений отрицательно влияет техногенное загрязнение окружающей среды тяжелыми цветными металлами. В известной степени прерывание круговорота азота компенсируется его выделением с вулканическими газами.

В современных условиях в круговорот азота заметно вмешивается человек. На обширных площадях он выращивает азотфиксирующие бобовые растения, связывающие природный азот. Считают, что сельское хозяйство и промышленность дают почти на 60% больше фиксированного азота, чем естественные наземные экосистемы.

Круговорот воды. В начале раздела был рассмотрен ее геологический круговорот. В основном он сводится к процессам испарения воды с поверхности Земли и Океана и выпадению на них осадков. В пределах отдельных экосистем протекают дополнительные процессы, усложняющие большой круговорот воды (перехват, эвапотранспирация и инфильтрация).

В процессе *перехвата* растительность способствует испарению в атмосферу части осадков раньше, чем они достигают поверхности Земли.

Эвапотранспирация, или суммарное испарение, — это общий объем подачи воды из экосистемы в атмосферу. Он включает влагу, переходящую в атмосферу в виде пара при транспирации растений (физиологическое испарение содержащейся в них влаги через их поверхность, прежде всего листьями) и физическом испарении из почвы и с поверхности растительности. Данный процесс зависит от ряда климатообразующих факторов (температура воздуха, скорость ветра, влажность и др.) и состояния биосферного вещества (структура почвы, характер растительного покрова и т.д.).

Вода осадков, достигшая почвы, частично просачивается в нее (инфильтруется) и либо образует одну из форм почвенной влаги, выключаясь на время из большого круговорота, либо достигает уровня грунтовых вод. Таким образом, инфильтрация измеряется количеством выпадающих осадков за вычетом испарения и поверхностного стока.

В целом круговорот воды характеризуется тем, что, в отличие от углерода, азота, других элементов, она не накапливается и не связывается в живых организмах, проходя через экосистемы почти без потерь. На формирование биомассы используется лишь ~1% воды, выпадающей с осадками.

Из-за громадной общей массы цикл биологического круговорота всей воды океанов, морей и рек оценивается в 2 млн лет.

Круговорот кислорода. Биологический цикл этого элемента захватывает атмосферу, гидросферу и литосферу. Основной его формой является молекулярная (O_2), но встречаются также озон (O_3) и атомарный кислород (O). Круговорот кислорода весьма сложен, так как он присутствует во множестве органических и минеральных соединений. Однако в основном его круговорот совершается между атмосферой и живыми организмами. Это обуславливается реализацией двух разнонаправленных процессов. При фотосинтезе в зеленых растениях кислород выделяется в атмосферу. При дыхании растений, животных и почвенном дыхании (разложение органики) он потребляется. Таким образом, количество кислорода на отрезках времени порядка сотен лет практически постоянно при возможном локальном его недостатке на малой площади городов и лесных пожаров.

Незначительное количество кислорода в форме O_2 образуется также при диссоциации молекул воды и озона в верхних слоях атмосферы под воздействием ультрафиолетовой радиации. Часть его расходуется на окислительные процессы в земной коре, на оксигенизацию газообразных выбросов вулканических извержений.

Различные оценки показывают, что продолжительность круговорота кислорода составляет ~ 2 тыс. лет. Возможное влияние человеческой цивилизации на этот процесс рассмотрено в разд. 1.6.5.

Круговорот фосфора связан с обменом веществ в растениях и животных наземных и морских экосистем.

При разрушении ряда горных пород, прежде всего апатитовых, накопивших громадные залежи фосфора в прошлые геологические эпохи, этот элемент попадает в наземные экосистемы или выщелачивается водами и в конечном итоге оказывается в океане. В обоих случаях он поступает в пищевые цепи.

В наземных условиях в большинстве случаев редуценты превращают органические фосфорсодержащие соединения в неорганические фосфаты, которые опять используются растениями. В океанических водах фосфор усваивается фитопланктоном. Последний служит пищей для других организмов, и в их тканях накапливается фосфор. Частичный возврат его на сушу возможен с помощью морских птиц (скопление гуано на побережье Перу) и благодаря рыболовству, продукты которого используются в пищу и в качестве удобрений. Часть океанических фосфатов в составе отмерших органических остатков поступает в глубинные осадки и накапливается там, выключаясь из круговорота.

Процесс естественного круговорота фосфора в настоящее время искажается интенсивным применением в сельском хозяйстве фосфорных удобрений, источником которых служат залежи минеральных фосфатов. Избыток фосфора, смытый с полей в водоемы, приводит к их эвтрофикации, т.е. к накоплению в воде биогенных элементов.

Круговорот серы. Сера попадает в почву при разрушении сульфидных горных пород, а также при разложении органических остатков, главным образом растительных, до сероводорода, элементарной серы или сульфатов. Последние поглощаются корнями растений, т.е. вновь вступают в круговорот, входя в организм в состав некоторых аминокислот. В наше время в круговорот во все больших масштабах вовлекается также сера промышленных выбросов и сбросов.

Круговорот биогенных элементов. Помимо рассмотренных основных элементов, в процессе обмена веществ живого организма принимает участие ряд других. Некоторые из них присутствуют в значительных количествах и относятся к категории *макроэлементов*, например натрий, калий, кальций, магний. Часть элементов содержится в

весьма малых концентрациях (*микроэлементы*), но они также жизненно необходимы (железо, цинк, медь, марганец и т.п.).

Главным источником биогенных элементов на суше служит почва, в которую они поступают при разрушении горных пород. Через корневую систему биогены попадают в растения, а затем по пищевым цепям — в гетеротрофные организмы. Частично эти элементы животные получают прямо из почвы (процесс солонцевания). Минерализация элементов и мертвых организмов возвращает биогены в почву и делает их доступными для включения в повторный круговорот.

Этот простой биологический цикл нарушается выносом элементов с поверхностным стоком, особенно с сельскохозяйственных полей, в реки и, в конечном итоге, в моря. Внесение минеральных удобрений компенсирует этот вынос лишь частично.

Все преобразования вещества в процессе круговорота связаны с затратами энергии. Ни один живой организм не продуцирует ее, она может быть получена только извне. Как уже отмечалось, главным источником энергии, используемой в биологическом круговороте, служит солнечная. Общий ее приток на планету составляет $\sim 5 \cdot 10^{20}$ ккал/год, из которых $1,1-1,7 \cdot 10^{20}$ приходится на сушу и $3,3-3,9 \cdot 10^{20}$ — на Мировой океан. Первым этапом использования и преобразования энергии в цепях круговорота является фотосинтез, в процессе которого создаются вещества для построения тела растительных организмов — автотрофов. По приблизительным подсчетам, на него приходится немногим более 0,1% солнечной энергии, направленной на Землю. Первичная энергия, аккумулируемая в тканях продуцентами, постепенно рассеивается в виде тепла и других форм энергии на всех следующих стадиях трофических цепей.

В целом рассмотренные выше и все другие биохимические циклы образуют в совокупности единый грандиозный круговорот веществ на Земле, в котором малые круговороты отдельных элементов тесно связаны между собой. О масштабности общего круговорота свидетельствует тот факт, что ежегодно на Земле образуется более 100 млрд т органических соединений, трансформируется 200 млрд т углекислого газа и 145 млрд т свободного кислорода.

1.4. Понятие об экологии и ее структуре

Как уже отмечалось, уникальность нашей планеты состоит в том, что в силу ряда не всегда еще ясных причин на ней возникла и эволюционирует особая оболочка — биосфера, область, населенная живыми организмами. Они взаимодействуют с другими элементами биосфе-

ры — биокосным, косным и биогенным веществом. Взаимодействие элементов биосферы друг с другом, все возрастающая роль в нем человеческого фактора и многие другие вопросы, связанные с наличием жизни на Земле, составляют предмет экологии.

Термин «экология» (от гр. *oikos* — дом, родина и *logos* — наука) предложил немецкий биолог Э.Геккель (1866 г.) для обозначения биологической науки, изучающей взаимоотношения животных с органическими и неорганическими средами. В своем капитальном труде «Всеобщая морфология организмов» он писал: «Под экологией мы понимаем сумму знаний, относящихся к экономике природы: изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической, и прежде всего — его дружественных или враждебных отношений с теми животными и растениями, с которыми он прямо или косвенно вступает в контакт». В дальнейшем, расширив формулировку Геккеля, многие ученые стали рассматривать экологию как науку об условиях существования не только животных, но всех живых организмов и их взаимодействии между собой и со средой обитания.

В такой трактовке экология как научная дисциплина имеет более чем вековую историю. Ее основы можно найти в трудах многих выдающихся ученых позапрошлого века (А.Гумбольдт, Ж.-Б.Ламарк, Е.Варминг, Н.А.Северцев и др.). В развитие экологии 20 в. значительный вклад внесли Е. Ле Руа, П. Тейяр де Шарден, В.И.Вернадский, Ю.Н.Куражковский, А.Пирс, Ф.Клементс и др.

В последние десятилетия термин «экология» приобрел особую популярность. Экологическая наука переживает вторую молодость, разговоры о ней и ее проблемах идут во всех слоях общества. Однако от этого понимание сути экологии не стало более ясным. Напротив, ее смысл, отраженный в определении Э.Геккеля, все более размывается новыми толкованиями, подчас далекими от начального понимания экологии как одной из биологических наук (биоэкологии). Распространена весьма широкая трактовка экологии как комплекса многих научных направлений (экономики, социологии, медицины, географии, геологии, технологии и т.д.), вобравших в себя, по существу, все известные дисциплины. Такое понимание лишает экологию собственных предмета, содержания и методологии.

С другой стороны, часто экология рассматривается как научное направление, основным содержанием которого является изучение только гигиенического состояния окружающей среды, все проблемы которой можно решить техническими средствами.

Не случайно поэтому появляются руководства по экологии, написанные с принципиально разных позиций. В одних она трактуется

как современная естественная история, в других — как учение о структуре природы, в котором конкретные виды рассматриваются в качестве форм трансформации вещества и энергии в биосистеме, в третьих — как учение о популяциях, в четвертых — как область науки, относящаяся не только к природе, но и к человеческому обществу, поскольку вскрытые биологические закономерности оказались применимы и к нему.

Не останавливаясь на всех существующих точках зрения относительно предмета и содержания экологии, приведем некоторые распространенные современные определения этого термина (*Охрана ландшафтов...* и др.), а также авторскую трактовку:

экология — одна из биологических наук, изучающая живые системы в их взаимодействии со средой обитания (формулировка, близкая к данной Э. Геккелем);

экология — особый общенаучный подход к исследованию проблем взаимодействия организмов, биосистем и среды (экологический подход);

экология — комплексная наука, синтезирующая данные естественных и общественных наук о природе и о взаимодействии ее и общества (эколого-социологический подход);

экология — наука, исследующая закономерности жизнедеятельности организмов в любых ее проявлениях на всех уровнях интеграции в их естественной среде обитания с учетом изменений, вносимых в среду деятельностью человека (эколого-антропосный подход);

экология — совокупность научных и практических проблем взаимоотношений человека и природы (антропосный подход);

экология — наука об антропосном воздействии на природу и ее ответных реакциях, потенциально или непосредственно опасных для человеческого сообщества (антропосный подход, формулировка автора).

Все приведенные определения образуют две самостоятельные группы. В одной из них экология рассматривается как биологическая наука, человек и его особое место в возникновении и решении экологических проблем не подчеркиваются (первые две формулировки). К другой группе относятся определения, в которых роль антропоса в проблемах экологии становится центральной (три и особенно две последние формулировки).

Представляется, что антропосный подход в большей степени объясняет причины все возрастающего внимания к экологии, перемещение ее в центр глобальных человеческих интересов. В общественном сознании в настоящее время экологические проблемы занимают место, по крайней мере, следующее за создаваемыми ядерным оружием. Ни од-

на из проблем фундаментальной науки не привлекала в прошлом такого пристального внимания широких слоев населения многих стран. Массовое внимание к экологии, масштабы ее проблем расширялись по мере роста производства с его все более усиливающимся воздействием на окружающую среду. Только присутствие человека на Земле породило экологические проблемы, и только он может их разрешить. В его отсутствие эволюционное изменение биосферы было синхронизировано с изменениями в геосфере и климатических факторах. Известно, что «у природы нет плохой погоды, всякая погода — благодать».

Великий Конфуций 2,5 тыс. лет тому назад сказал: «Первое, что сделал бы мудрец, став правителем — он бы вернул изначальный смысл словам». Возвращая этот смысл понятию «экология» (дом, родина), учитывая время его появления, мы неизбежно приходим к выводу, что главное здесь не само по себе взаимодействие живых систем со средой их обитания, а антропоносная составляющая биологического взаимодействия, отраженная в последних двух формулировках экологии, которые примерно равноценны и, возможно, отражают суть современных представлений об этой науке.

Противоречивость трактовок понятия «экология» предопределила столь же противоречивые взгляды на ее структуру. Четкая разработка последней — задача ближайшего будущего (*Радкевич*). Однако дело не только в неопределенности самого понятия. Основная причина заключена в том, что структурирование любых понятий должно производиться с соблюдением классических правил деления, известных из курсов логики: соразмерность деления, деление по одному основанию, непрерывность деления, непересекаемость членов деления. Несоблюдение этих правил буквально во всех работах по экологии приводит к логическим ошибкам. Основные из них: неполное деление, деление с лишними членами, подмена основания, скачок в делении, пересечение членов деления.

Придерживаясь правил деления и исходя из определения, что экология — совокупность научных и практических проблем взаимоотношений человека и природы, или из авторского определения, ее можно разделить на экологию общую и прикладную.

К общей экологии следует отнести разделы, изучающие антропоносное воздействие на живое (биоэкология) и неживое (геоэкология) вещество и их ответные реакции на это воздействие. Деление членов общей экологии, как и любых других понятий, может быть выполнено по множеству оснований (признаков).

Так, в *биоэкологии* при делении по уровню организации живого можно выделить *молекулярную* экологию, *морфологическую* экологию (клеток и тканей), *аутоэкологию*, изучающую живое вещество на

уровне особи (организма), *демэкологию* (популяций), *эйдэкологию* (экологию видов), *синэкологию* (сообществ), *глобальную* (учение о биосфере). При делении по *типу структурирования живого в биологической системе* биоэкологию можно разделить на экологию *многоклеточных организмов* (грибов, растений, животных) и *одноклеточных* (микроорганизмов).

К предмету *геоэкологии*, как отмечено, относятся проблемы воздействия в системе антропос-неживое вещество. Принимая за признак деления агрегатное состояние этого вещества, получим, например, деление геоэкологии на *экологию суши, гидросферы и атмосферы*.

К области *прикладной экологии* необходимо отнести следующие вопросы:

выработка общих решений, прогнозов и рекомендаций, касающихся путей выхода из тех или иных глобальных кризисных ситуаций экологического характера;

разработка конкретных управленческих, юридических, технологических, экономических и других решений, улучшающих экологические параметры развития.

Исходя из сказанного, прикладную экологию можно разделить на экологию *глобальных кризисных проблем* и экологию *природопользования* (терминология автора).

К глобальным кризисным относятся, например, проблемы парникового эффекта, озонового слоя Земли и др. (разд. 1.6).

Экология природопользования в нашем понимании — это научно-техническое направление, разрабатывающее конкретные управленческие, юридические, технологические, экономические и другие решения, улучшающие экологические параметры развития материального производства и коммунального хозяйства. В зависимости от того, для какой области разрабатываются решения, экология природопользования подразделяется на *промышленную, сельскохозяйственную, промысловую* (рыболовство, охота), *быта*.

Промышленная экология — ядро экологии природопользования. Первое ее определение, согласованное десятью странами-участницами, дано на международной конференции 1992 г. в Сноумас-Виллидже (США). Оно гласит: «промышленная экология — это научно-технический подход к развитию промышленности и сельского хозяйства, учитывающий взаимосвязь между всеми этапами производства, от добычи природного сырья до удаления отслуживших свой век товаров на свалки, и их отрицательное воздействие на человека и окружающую среду» (Сидельникова...). Включение в это понятие промышленного и сельскохозяйственного производства и обращения с отходами расширя-

ет, по сути, приведенную формулировку до понятия «экология природопользования», содержащую ошибку слишком широкого определения.

Очевидно, что ни приведенная, ни любая другая систематизация экологических дисциплин не может быть доведена здесь до конца из-за весьма большого числа членов деления. Представленная автором классификация охватывает преимущественно родовые понятия и виды первого-второго порядков. Последующие порядки можно получить делением ближайших родов по видовому отличию.

Так, например, экологию животных, в соответствии с их зоологическими классами, следует разделить на экологию млекопитающих, птиц, земноводных, рыб, насекомых и др. В свою очередь, экологию млекопитающих, в согласии с их подклассами, можно расклассифицировать на экологию яйцекладущих (первозверей), сумчатых, плацентарных (высших зверей). Экология плацентарных, в соответствии с их отрядами, разделяется на экологию приматов, хищных, грызунов, насекомоядных и т.д. В экологии приматов по аналогии с их подотрядами следует выделить низших и высших приматов. И наконец, в экологии высших приматов можно вычленить экологию человека. Деление нетрудно продолжить и далее, но главное при этом — соблюдение перечисленных ранее правил деления.

Экологию (царство) растений, в соответствии с их общепринятой (ботанической) классификацией, очевидно, следует разделить на экологии (подцарства) багрянок, настоящих водорослей, высших растений. При необходимости дальнейших классификаций каждое из подцарств и соответствующих им экологий можно разложить на составляющие их виды последующих порядков, например, экологию высших растений — на экологию высших споровых и семенных.

Таким образом, при разработке классификаций пригодны различные существенные признаки деления. Важно лишь, чтобы на любом конкретном уровне оно проводилось только по одному признаку (основанию). Это позволяет исключить весьма распространенную логическую ошибку — деление с лишними членами.

В качестве пояснения укажем, что такая ошибка возникает, например, когда людей делят на мужчин, женщин и детей. В данном случае на одном уровне деления использованы два признака: пол человека и его возраст. Поэтому при делении по полу получили лишний член деления (дети), а при делении по возрасту лишними оказались члены деления «мужчины» и «женщины», но не хватает члена деления «взрослые», т.е. совершена еще одна логическая ошибка (неполное деление).

Естественно, что на последующих уровнях деления используются другие признаки. Например, взрослых можно по признаку пола разде-

лить на мужчин и женщин, женщин — на замужних и незамужних, замужних — на имеющих детей и не имеющих их и т.д.

К сожалению, к приводимым в современной литературе структурам экологических дисциплин правила логического деления не применялись. Однако анализ логических нарушений, допущенных в ряде работ по экологии, требует отдельного рассмотрения. (Авт.: «*Природопользование...*»).

Таким образом, предвидимое В.А.Радкевичем четкое деление структуры экологии, как задача ближайшего будущего, будет реализовываться по мере освоения экологами основ логического деления.

Резюмируя, еще раз подчеркнем, что экология как наука и ее прикладные аспекты перемещались в центр внимания человеческого сообщества по мере развития материального производства и возрастания масштабов антропоного давления на окружающую среду. Рассмотрим последнее более подробно.

1.5. Масштабы антропоного давления на биосферу

Влияние деятельности человека на природные сообщества весьма разнообразно и прослеживается во всех частях биосферы. В первую очередь оно связано с такими формами антропогенного воздействия, как прямое истребление ряда видов живых организмов, а также с загрязнением биосферы промышленными и бытовыми отходами, пестицидами и т.п.

Катастрофические результаты влияния человечества на природу впервые были осознаны через мартиролог (скорбный список) истребленных им растений и животных. В него, в частности, входит более ста видов крупных млекопитающих и еще большее количество видов и подвидов птиц.

Масштабы истребления животных неуклонно возрастали. Уже в палеолите древний человек начал оказывать влияние на их численность. Примерно 100 тыс. лет назад не без его участия в Европе исчезли лесные слоны и носороги, затем мамонты, шерстистые носороги, гигантский олень. Не пощадили и птиц. Около 200 лет назад в Новой Зеландии истребили моа (динорниса), огромную, высотой до 3 м, бегающую птицу. В 19 в. на острове Маврикий в Индийском океане был уничтожен дронг, единственная из известных гладкокожая птица (без перьев, бегающая). Всего в 17-20 вв. истреблено 65 видов млекопитающих и 122 — птиц.

Что касается воздействия на биосферу загрязнителей антропогенного происхождения, то на протяжении многих столетий они не оказыва-

ли заметного влияния, хотя некоторые отрасли материального производства, в частности металлургия и обработка металлов, возникли до нашей эры. Изготавливали также стекло, мыло, гончарные изделия, краски, пищевые продукты, вино и др. При этом в атмосферу выделялись оксиды углерода, серы, пары металлов, особенно ртути, в водоемы сбрасывались отходы красильных и пищевых производств — все в количествах, не представлявших заметной опасности для окружающей среды.

В средние века в Европе начали складываться централизованные государства с четко очерченными границами, требовавшими защиты. Это, а также появление огнестрельного оружия на вооружении армий ускорило развитие химии, вызванное необходимостью получения относительно больших количеств азотной и серной кислот, селитры, пороха, медного купороса, поташа, используемых при изготовлении взрывчатых веществ и в сельском хозяйстве. Переход от феодальной раздробленности к образованию единых государств с централизованной властью способствовал также дальнейшему прогрессу металлообработки при одновременной концентрации производства. Уже тогда появились первые признаки промышленного загрязнения окружающей среды медью и цинком (Уэльс), серой (Сицилия), хлоридом ртути (Италия). Это привело к исчезновению растительности на прилегающих к производству территориях и к ухудшению здоровья их жителей.

Однако до 18 в. основными источниками загрязнения оставались бытовые сточные воды и продукты сгорания топлива для обогрева жилищ: CO, CO₂, сажа, зола, SO₂ (при использовании каменного угля). Накопление отходов существенно не влияло на общую экологическую обстановку.

Тем не менее идеи о необходимости сохранения окружающей среды зародились уже в Древнем Мире. Например, вавилонский царь Хаммурапи (18 в. до н.э.) издал закон об охране лесов, индийский император Ашока (3 в. н.э.) выпустил большое количество опиравшихся на религию законов об охране природы (*Платонов...*).

Первым европейским законом о защите окружающей среды следует считать эдикт английского короля Эдуарда IV (1273 г.), запрещавший использование каменного угля для отопления жилищ Лондона. За нарушение эдикта (особо важного указа) по законам того времени полагалась смертная казнь. Вот еще некоторые даты истории мирового и отечественного природоохранного и экологического движения 17-19 вв.:

1639 г. — законы по ограничению загрязнения городов мусором и помоями (в Испании предписывалось не выливать их ранее 23 часов летом и 22 часов зимой);

1714 г. — указ Петра I о сборе ветоши для бумажной фабрики в Петербурге — один из первых актов, направленных на использование вторичного сырья;

1811-1820 гг. — законы по борьбе с загрязнением атмосферы (Австрия и Германия);

1832 г. — организация национального парка в США (горячие ключи в Арканзасе);

1853 г. — учреждение государственного заповедника во Франции (Фонтенбло);

1881 г. — возникновение национальной лесной ассоциации США — одной из первых лесоохранительных организаций;

1895 г. — создание Английского национального объединения по охране природы.

Загрязнение окружающей среды заметно возросло с началом первой промышленной революции. Так, изобретение паровой машины обусловило резкое увеличение потребления топлива и выбросов в атмосферу. К этому же, а также к образованию сточных вод и твердых отходов привело дальнейшее развитие металлургии и сопряженных с ней отраслей (добыча угля, обогащение, коксохимия). По мере развития железных дорог солидным источником загрязнения воздушного бассейна стал транспорт.

С появлением автомобилей с двигателями внутреннего сгорания и крупных ТЭС, а также с дальнейшим развитием химической промышленности существенно изменился состав загрязнителей. В атмосферу начали поступать значительные количества оксидов азота и серы, соединения свинца и ртути, аммиак, сероводород, углеводороды, альдегиды, бенз(а)пирен и др; в водоемы сбрасывается большая масса различных химических соединений. Возрастают отвалы золошлаковых отходов и терриконы горелых пород, сооружаются шламонакопители. Создание атомной энергетики, ядерного оружия обусловило возникновение весьма сложной проблемы обращения с радиоактивными отходами.

Развитие промышленного производства и транспорта привело к повышенной концентрации людей на относительно небольших территориях (с плотностью до 15 тыс. чел./км²). Уже в 80-е годы прошлого столетия имелось свыше 20 городов с населением более 5 млн жителей в каждом (в Мехико их число превысило 17 млн). Растут агломерации городов в США, Японии, Европе, насчитывающие по 30-40 млн чел. и более. Все это предопределило интенсивное загрязнение окружающей среды, быстрое накопление бытовых отходов и стоков на ограниченных площадях.

Наличие бытовых стоков, богатых органикой, привело к повышению эвтрофикации водоемов, неблагоприятно сказалось на их продуктивности. Произошло также резкое усиление развития фитопланктона («цветение воды»), многих других гидробионтов, прибрежных зарослей высшей растительности. Одновременно возник дефицит кислорода, возросли глубинные зоны с анаэробным обменом, накоплением сероводорода, аммиака и т.д. Это вызвало гибель ценных видов рыб и ухудшение питьевых качеств воды, многие водоемы потеряли хозяйственное значение.

Вещественные загрязнения от крупных промышленных центров распространяются на десятки, сотни и даже тысячи километров от источников их образования, создавая трудно разрешаемые проблемы ликвидации их трансграничных переносов. Так, радиоактивные выбросы веществ при катастрофе на Чернобыльской АЭС достигли Севера Европы — Скандинавских стран.

Неблагоприятное влияние на жизнедеятельность человека оказывают механические (шумы, вибрации, инфра- и ультразвук) и электромагнитные колебания в виде различных излучений (рентгеновского, ультрафиолетового, инфракрасного и др.). Вещественное и энергетическое загрязнения среды обитания дополняются возрастанием психологических стрессов, напряженным темпом жизни на урбанизированных территориях, ослаблением и потерей связей между людьми и т.д.

Масштабы изъятия природных ресурсов и воздействия человека на окружающую среду становятся в настоящее время сопоставимыми с геологическими. Так, на территории России создано Куйбышевское водохранилище, площадь зеркала которого (5900 км²) больше, чем у российских озер Таймыр, Ханка, Чудское с Псковским, и превышает акватории Ильменского озера в 5, а Телецкого в 25 раз. Глубина карьеров по добыче полезных ископаемых достигла 1 км при их площади в десятки квадратных километров. Это вполне сопоставимо с предполагаемым следом у западного побережья Америки (~200 м в глубину и около 200 км в длину) от столкновения нашей планеты примерно 65 млн лет тому назад с крупным небесным телом. Его последствиями считают быстрое в геологическом масштабе времени (порядка 1 млн лет) исчезновение в конце мелового периода динозавров и последующее бурное развитие млекопитающих и птиц. В районе г. Нижний Тагил полностью срыта гора Высокая высотой около 400 м, служившая железорудной базой Нижнетагильского металлургического комбината.

Более общее представление о повседневной человеческой деятельности геологических масштабов дают размеры современных изъятий полезных ископаемых и количество образующихся при их переработке загрязнителей природной среды.

По различным оценкам, в мире ежегодно извлекается и перемещается 100-150 млрд т полезных ископаемых, отвалов и вскрышных пород, производится свыше 2 млрд т цемента и 1 млрд т металлов, выпускается более 120 млн т синтетических материалов, вносится на поля 500 млн т минеральных удобрений и 3 млн т ядохимикатов. В производственных и бытовых целях используется 13% речного стока. Соответственно в окружающую среду выбрасываются весьма существенные количества газообразных, жидких и твердых загрязнителей.

В атмосферу, по данным разных авторов, ежегодно поступает, т: около 25 млрд CO_2 , более 200 млн CO , свыше 150 млн серосодержащих газов, 80-110 млн оксидов азота, до 1 млрд пыли. Объем промышленных и бытовых стоков составляет 700 км³/год. Последняя цифра означает, образно говоря, что ежегодно стоки образуют непреодолимую для человека без подручных средств преграду длиной 10 тыс. км (от Калининграда до Владивостока), шириной 35 км и глубиной 2 м. В Мировой океан за этот срок сбрасывается до 50 млн т нефти и нефтепродуктов, 6 млн т фосфора, более 2 млн т свинца, 5 тыс. т ртути, 50 тыс. т пестицидов. Нефтяная пленка покрывает ~1/3 поверхности морей и океанов, существенно затрудняя газообмен между гидросферой и атмосферой.

В мире накоплено 200-300 млрд т твердых отходов, в том числе на территории СНГ — 80 млрд т. Ежегодно объем накапливаемых на поверхности Земли перерабатываемых отходов превышает 2 млрд т, из них 340 млн т — потенциально опасных. Объем ВАО к 2000 г., по оценкам, достиг 1 млн м³. В развитых странах на одного жителя приходится 300-750 кг коммунальных и 1,0-2,5 т промышленных отходов в год.

Основной загрязнитель окружающей среды — промышленность. Она потребляет 37% мирового производства энергии, выделяет в атмосферу 50% всех выбросов CO_2 и 90% оксидов серы. На долю черной металлургии приходится до 20% всех промышленных загрязнений. Транспорт расходует до 30% энергии, выбрасывает 60% CO , более 40% оксидов азота и летучих углеводородов, до 20% CO_2 . Теплоэлектростанции дают ~25% вредных выбросов в атмосферу. Крупнейшим загрязнителем окружающей среды является сельское хозяйство, в котором только навозных стоков образуется ежегодно несколько миллиардов тонн.

Особенно быстро (на 3% в год) увеличивается выход ТБО. Из них утилизируется не более 20%. Даже в Западной Европе сбор и переработка отходов дают только 1,5% ВВП стран «Общего рынка».

Антропогенное воздействие на окружающую среду в нынешних масштабах уже не всегда может быть ликвидировано происходящими в

ней естественными процессами. Во многих регионах мира оно подвело биосферу к грани экологического кризиса. Под угрозой исчезновения в настоящее время находится почти 1 тыс. видов животных и 25 тыс. видов растений.

Все более очевидной становится мысль о том, что типичной характерной и *постоянной причиной* загрязнения окружающей среды тем или иным материальным объектом является его *изначальная* технологическая, конструкторско-техническая порочность, заложенная еще на этапе проектирования. В связи с этим на первый план в борьбе с загрязнением окружающей среды выдвигается экология природопользования. Прежде всего ее усилиями могут быть существенно смягчены те глобальные экологические проблемы, которые уже стоят перед человечеством.

1.6. Глобальные экологические проблемы

Эти проблемы в настоящее время находятся в центре внимания как специалистов различного профиля, так и общественности. Отношение к ним неоднозначно — от страха перед приближающимся концом цивилизации до глубокого скепсиса в отношении существования многих из них.

Можно полагать, что все глобальные экологические проблемы в значительной степени обусловлены хозяйственной деятельностью человечества, масштабы которой, как уже отмечалось, становятся сопоставимыми с геологическим и космическим воздействиями. К возможным последствиям этого относят «парниковый» эффект, влияние аэрозолей, «озоновую дыру», нарушение биохимического круговорота веществ и ряд других далее рассматриваемых проблем. Для их разрешения на Стокгольмской конференции ООН по проблемам окружающей среды (1972) была принята Декларация, содержащая основные принципы международного сотрудничества в данной области, и создана ЮНЕП. В 1982 г. Генеральная Ассамблея ООН одобрила Всемирную хартию природы. Подробнее вопросы международного экологического сотрудничества рассматриваются в кн. 4 (разд. 10.4).

1.6.1. Парниковый эффект

Понятие парникового эффекта сформулировано в 1863 г. Тиндалом. В 1938 г. Каллендер впервые высказал предположение о возможном влиянии антропогенных выбросов углекислого газа на климат (*Юсфин...*).

Впервые всестороннее обсуждение возможности парникового эффекта, связанных с ним изменений климата и экосистем произошло в рамках международной конференции ЮНЕП, ВМО и МСНС в Филлахе (Австрия) 5-15 октября 1985 г. Общая картина, изложенная на конференции и в последующих исследованиях проблемы парникового эффекта, представляется следующим образом (*Парниковый эффект...*).

В настоящее время в атмосфере наблюдается рост содержания некоторых малых газов, таких как углекислый газ CO_2 , закись азота N_2O , метан CH_4 , озон O_3 , пары воды, хлорфторуглероды и другие галогенпроизводные углерода (фреоны). Эти так называемые парниковые газы, как и основные составляющие атмосферы (азот, кислород), пропускают к поверхности Земли ультрафиолетовую и видимую (световую) части солнечного излучения оптического диапазона. Поглощаемая земной поверхностью солнечная энергия нагревает ее, что приводит к тепловому длинноволновому (инфракрасному) излучению оптического диапазона в окружающее пространство. Однако оно в значительной степени задерживается компонентами атмосферы и прежде всего парниковыми газами; часть тепла вновь отражается на поверхность Земли. Задержание тепловой энергии у приповерхностного слоя приводит к повышению его температуры («парниковый эффект»).

Представленная картина возникновения парникового эффекта опирается на квантовую теорию света. В соответствии с ней, энергия ε кванта выражается формулой:

$$\varepsilon = h\nu, \quad (1.2)$$

где h — постоянная Планка ($6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с); ν — частота, присущая кванту.

Поскольку частота видимой и ультрафиолетовой частей солнечного излучения заметно выше, чем инфракрасной, то и энергия кванта в ней больше, чем кванта теплового излучения — примерно в 1000 раз (разд. 6.2.3). Поэтому значительно менее мощные кванты последнего задерживаются атмосферой сильнее, чем падающие на поверхность кванты. Задержанию в существенной степени содействуют более крупные молекулы парниковых газов. Действительно, диаметр молекул основных газовых составляющих атмосферы (N_2 , O_2) разными методиками расчета оценивается соответственно в $3,15-3,70 \cdot 10^{-8}$ и $2,94-3,56 \cdot 10^{-8}$ см, а для CO_2 и CH_4 , например, он составляет $3,24-4,54 \cdot 10^{-8}$ и $3,24-4,30 \cdot 10^{-8}$ см (*Кэй...*).

В основе рассмотренного механизма возникновения парникового эффекта лежит идея знаменитого шведского физико-химика С.Аррениуса о прогреве атмосферы за счет поглощения ею инфра-

красного излучения (1896 г.) и представление о том, что передача тепла в тропосфере происходит за счет его радиации.

В настоящее время, с учетом концентраций и продолжительности существования парниковых газов в атмосфере, их вклад в возможное потепление примерно равен, %: CO_2 — 55; CH_4 — 15-17; N_2O — 5-6; O_3 — 14, другие — 9 (Изменения...; Кондратьев... 2004). Поскольку основная доля парникового эффекта приходится на CO_2 , то обычно анализ этой проблемы связывают с изменением его концентрации. Ее значения в различные периоды времени оцениваются следующим образом, млн⁻¹: начало голоцена, или послеледниковое время 8 тыс. лет назад, — 500 (анализ пузырьков воздуха из ледниковых кернов); доиндустриальная эпоха (середина 19 в.) — 275; 1958 г. — 315, 1984 г. — 354 (Парниковый...; Рябчиков), 2002 — 373.

В соответствии с различными сценариями, удвоение содержания CO_2 в атмосфере в сравнении с доиндустриальным периодом может произойти в середине 21 в. или после 2100 г. Удвоение, как полагают, приведет к повышению температуры на 1,5-4,5 К. Что касается вклада других газов в парниковый эффект, то для бывших ранее вторыми по значимости после диоксида углерода ХФУ он снижается (производство ХФУ в ряде высокоразвитых стран запрещено и сокращается в связи с негативной ролью не только в создании парникового эффекта, но и в развитии «озоновой дыры»). Считают также, что отсутствие парниковых газов и, особенно, водяного пара в атмосфере снизило бы современную температуру у земной поверхности (+15,2°C) на 32-40°C и привело к существованию биоты на Земле в формах, весьма отличных от ныне существующих (Рябчиков; Шилов).

Для биосферы Земли развитие парникового эффекта может иметь как положительные, так и отрицательные экологические последствия.

К положительным следует отнести то, что при глобальном потеплении увеличится испарение с поверхности Океана и возрастет влажность атмосферы. Это благоприятно скажется на снижении засушливости аридных областей. Повышение концентрации CO_2 в воздухе может интенсифицировать фотосинтез, а значит, способствовать росту продуктивности как естественных лесных формаций, так и культурных растений. Применительно к России урожай зерновых может подняться в среднем на 67%, кормовых трав — на 95% (Вронский).

При увеличении концентраций парниковых газов модели климата предсказывают больший рост температуры в высоких широтах и меньший — в низких. Анализ в некоторых работах приводит к выводу, что при потеплении на 1 К границы зернопроизводящих областей средних и высоких широт отодвинутся на несколько сотен километров

к северу, а в холодных горных районах возможно перемещение продуктивных зон вверх более чем на 100 м (Парниковый...).

К отрицательным последствиям парникового эффекта относят прежде всего вероятное поднятие уровня Мирового океана (разд. 1.6.3). К негативным последствиям для России, где до 60% территории занято вечной мерзлотой, причисляют также усиление сезонного протаивания грунтов. Это создаст угрозу дорогам, строениям и коммуникациям, активизирует процессы термокарста, заболачивания, ухудшит состояние лесных массивов на вечной мерзлоте и др.

В свете предполагаемых отрицательных последствий влияния парниковых газов на состояние биосферы и условия жизни людей, по линии ряда международных организаций (ЮНЕСКО, ФАО, ЮНЕП) уже действует межправительственный комитет по предотвращению глобального потепления климата. Он проводит оценку ущерба от затопления прибрежных территорий, ухудшения качества водных ресурсов, ведет поиск экологически чистых альтернативных источников энергии. В соответствии с решением конференции в Киото (разд. 1.9), к 2008-2012 гг. объемы выбросов углекислого газа в промышленно развитых странах должны быть снижены до 92-95% от уровня 1990 г.

Кроме того, предложен ряд эффективных технологий связывания и утилизации CO_2 , выделяющегося при сжигании топлива. Они, в частности, предусматривают захоронение диоксида углерода в море: закачку компримированного до жидкого состояния CO_2 в глубинные скальные породы морского дна (A watery...), в океанскую толщу на глубину (Proc. 27th...; Frobose), переработку в твердую блочную кислоту с затоплением ее на большую глубину с последующим газированием морской воды (Frobose), подачу компримированного до ~50 атм и охлажденного до примерно 40°C CO_2 на морское дно на глубину около 3200 м, где находится наиболее плотная вода с постоянной температурой 4°C и достигается давление порядка 370 атм. В последнем случае CO_2 сжижается и, имея большую, чем вода, плотность, остается на дне, где постепенно взаимодействует с морскими породами и карбонизирует их, переходя в твердое состояние.

Известны предложения по использованию CO_2 для синтеза сахаров, метанола, диметиллов или пироуглерода, предназначенного для долгосрочного хранения в земле (Розовский; Стейнбек).

В стадии практической реализации с 2002 г. находится проект США, предусматривающий сокращение выбросов углекислого газа с одновременным получением метана. В соответствии с ним, в штате Колорадо на двух шахтных участках пробурено в совокупности 16 скважин для закачки 550-600 тыс. м³/сут. CO_2 , что увеличивает вы-

ход метана из угольных пластов: через 23 скважины со 140 тыс. до 830 тыс. м³/сут (Reeves).

Однако ряд специалистов аргументированно полагает, что роль диоксида углерода и других газов в возникновении парникового эффекта, как и наличие самого эффекта, сильно преувеличены. Уже на конференции в Филлахе отмечалось, что повышение глобальной температуры на 0,3-0,4 К в течение последних 100 лет, строго говоря, нельзя объяснить только увеличением концентрации парниковых газов и что приведенные показатели роста температуры и уровня океана — это не прогноз, а лишь возможные сценарии. Указывалось также, что сценарии потепления не моделируют всех процессов чрезвычайно сложной геосферы в целом, не учитывают взаимосвязи подсистем атмосфера-суша-океан-биосфера (биота и человек), выбросы загрязняющих веществ. Совокупность данных подсистем практически не поддается моделированию и прогнозу, поскольку требует учета количества связей, число которых ни с чем не сравнимо в человеческой практике.

Основные факторы, не оставляющие места явлению парникового эффекта, в последнее время достаточно последовательно рассмотрел, в частности, проф. О.Г.Сорохтин (Глобальные...).

Он и его сторонники подчеркивают, что, в отличие от основополагающей идеи С.Аррениуса о нагревании атмосферы за счет поглощения ею инфракрасного излучения, в плотных тропосферах (с давлением, большим 0,2 атм) доминирует конвективный вынос тепла, применительно к Земле — вплоть до высоты 10-12 км. В этом случае поглощение инфракрасного излучения поверхности Земли не играет существенной роли в распределении температуры по высоте тропосферы.

Отмечается, что при реально существующем парниковом эффекте любое повышение приземной температуры усиливало бы испарение влаги и увеличивало облачность Земли, а это, в свою очередь, повысило бы альбедо (отражательную способность) атмосферы. В результате уменьшилось бы поступление тепла на Землю и средняя температура ее поверхности вновь бы снизилась до прежнего уровня. Более того, как показали расчеты метеорологов Гамбургского университета и Института физики плазмы им. М.Планка в Мюнхене, эффект альбедо может привести к похолоданию (Рябчиков). По расчетам О.Г.Сорохтина, замена азотно-кислородной атмосферы Земли на углекислотную с давлением 1 атм понизит среднюю приземную температуру на ~5 К.

Указывается также, что прогнозируемое конференцией в Филлахе повышение содержания CO₂ в атмосфере с 354 до 500 млн⁻¹ невозможно: если даже сжечь все леса на Земле, то концентрация диоксида углерода возрастет не более чем на 25 млн⁻¹ (Рябчиков).

Отмечается, что возможное небольшое потепление обусловлено не столько парниковым эффектом, сколько зафиксированным повышением солнечной активности. Кроме того, не учитывается термическая инерция океана (разд. 1.6.3).

Весьма существенно, что увеличение парциального давления CO_2 в атмосфере является, как отмечает О.Г.Сорохтин, не причиной, а следствием потепления климата. Этот чрезвычайно важный вывод опирается на исследование изменения концентраций углекислого газа в пробах древнего льда Антарктиды (наибольшая глубина бурения 3,2 км, достигнута Германией). Исследования, проведенные на российской научной станции «Восток», показали, что на временных отрезках 5, 20 и 100 тыс. лет это изменение имеет одинаковый характер. Оно всегда запаздывает в сравнении с изменением температуры атмосферы. Концентрация CO_2 продолжает расти еще некоторое время и после того, как температура воздуха начинает снижаться. Временной лаг запаздывания составляет 2-3 тысячи лет.

Таким образом, если, в соответствии с идеей С. Авенариуса, температура атмосферы есть функция CO_2 в ней, или $T = f(\text{CO}_2)$, то из изложенного выше следует, что концентрация CO_2 атмосферы есть функция температуры, или $\text{CO}_2 = f(T)$.

По нашему мнению, зависимость $\text{CO}_2 = f(T)$ коррелирует с известными данными о снижении растворимости CO_2 в воде при повышении температуры. В водах океанов углекислого газа растворено значительно (в 60 раз) больше, чем в атмосфере, поэтому при потеплении климата и соответствующем повышении температуры океанических вод парциальное давление CO_2 в атмосфере с определенным временным лагом будет увеличиваться. Справедливо и обратное рассуждение, относящееся к варианту снижения температуры океанов.

Временной лаг запаздывания изменения концентрации CO_2 в атмосфере по отношению к ее температуре объясним тем, что эту концентрацию определяет температура Океана. Однако последняя и связанные с ней выделения CO_2 из Океана вследствие его гигантского теплосодержания (тепловой инерции) изменяются с запозданием по отношению к температуре уже более прогретой атмосферы.

Инерционность Мирового океана как гигантского аккумулятора тепла особенно наглядно проявила себя в расчетах американских и советских ученых, касающихся последствий глобального ядерного столкновения двух сверхдержав (СССР и США). Расчеты показали, что в данном случае в результате поступления в атмосферу громадных количеств пыли, прикрывающих поверхность земли от солнечных излучений, ее температура понизится и наступит «ядерная» зима: в течение нескольких лет температура будет соответствовать (-20)-(-40°C). При

этом температура Океана изменится только в небольшом поверхностном слое и не более чем на 1,5-2,0 м.

И наконец, основным результатом российских антарктических экспедиций 2000-2004 гг. был вывод о неизменности температуры в пределах, по крайней мере, этого ледового континента, что, наряду с высокой инерцией Океана, является весьма серьезным аргументом в пользу ее стабильности в масштабах планеты.

В любом случае отмеченные выше причинно-следственные связи диктуют первоочередную необходимость получения данных об изменении/неизменении температуры Океана. И если даже механизм возникновения парникового эффекта по Аррениусу реален, то и в таком случае этот эффект возможен при наличии явно выраженного потока CO_2 из Океана в атмосферу. Однако пока новейшие данные свидетельствуют, что подъем CO_2 с глубины водами ($40 \cdot 10^9$ т/год) больше, чем опускание его масс с поверхностными водами ($69 \cdot 10^9$ т/год) за счет гравитационного оседания (Кондратьев..., 2004). Данные по притоку CO_2 в Океан можно интерпретировать как понижение температуры его поверхностного слоя, т.е. проявления в настоящее время процесса похолодания поверхности Океана (и атмосферы).

Таким образом, возможной причиной изменения климата в общем случае могут являться долговременные тренды температуры, причины которых не связаны с концентрациями CO_2 . Очевидно, что проблема изменения климата, будучи одной из самых важных, еще далека от однозначного разрешения в настоящее время.

Другие аргументы более общего плана против наличия парникового эффекта и экономические последствия для мировой и российской экономики реализации мер Киотского протокола «по борьбе с парниковым эффектом» рассмотрены нами в кн. 4, разд. 9.6 (продажа прав на загрязнение).

1.6.2. Влияние аэрозолей

Твердые аэрозольные частицы природного и антропогенного происхождения играют существенную роль в изменении климата. Их важное значение подчеркивает создание в 1987 г. двумя комиссиями Международной ассоциации метеорологии и физики атмосферы специальной группы, работающей в рамках международной программы по геосфере и биосфере над направлением «Глобальная аэрозольная климатология и эффекты».

Действие аэрозолей основано на том, что они непрозрачны не только для инфракрасной, но и для видимой и ультрафиолетовой час-

тей излучения оптического диапазона. Это ослабляет поток солнечной энергии, падающий на Землю, что, в принципе, должно приводить к похолоданию климата. Кроме того, аэрозольные частицы как ядра конденсации могут способствовать образованию облаков, а это повышает альbedo атмосферы и также приводит к понижению температуры поверхности Земли.

К настоящему времени накоплено достаточно много наблюдений, подтверждающих эти рассуждения. Так, следующий год после извержения вулкана Тамбора в 1815 г. стал известен во многих районах мира как «год без лета». После извержения вулкана Кракатау в 1883 г. средняя температура поверхности земного шара в последующий год понизилась на 1 К. И наоборот, температуры имеют тенденцию к росту при спаде вулканической деятельности. В частности, их максимальные значения отмечались между 1870-1880 и 1920-1945 гг., т.е. в периоды минимальных концентраций вулканической пыли в стратосфере.

Согласно Разулу и Шнейдеру (1971 г.), возможное в 21 в. увеличение массы атмосферных примесей в 4 раза приведет к понижению температуры воздуха вблизи поверхности Земли на 3,5 К, что будет соответствовать новому ледниковому периоду.

Митчел (1963 г.) оценил изменение температуры с учетом увеличения в воздухе концентраций CO_2 и массы атмосферных примесей. Его вывод совпадает с мнением Разула и Шнейдера о преобладающем влиянии примесей на глобальную температуру после 2000 г., которое вызовет ее существенное понижение у земной поверхности.

В целом большинство специалистов склоняется к выводу, что глобальная температура будет повышаться или понижаться в зависимости от того, какое влияние станет преобладающим — CO_2 или примесей аэрозолей антропогенного происхождения (*Рамад*). Полагаю, однако, что человечество имеет практическую возможность влиять на соотношение CO_2 /аэрозоль. Это означает, что оно может также поддерживать температурно-влажностные параметры поверхностного слоя Земли на оптимальных для себя значениях.

1.6.3. Повышение уровня Мирового океана

Этот процесс связывают с наличием парникового эффекта. Полагают, что увеличение средней глобальной температуры в пределах 1,5-4,5 К приведет к повышению уровня океана на 20-165 см за счет таяния материковых, горных и морских льдов, теплового расширения океанских вод и т.п. (*Парниковый...*). Это обусловит возникновение ряда экологиче-

ских и социально-экономических проблем: затопление приморских равнин, усиление абразионных процессов, ухудшение водоснабжения приморских городов, деградацию мангровой растительности и т.д.

Подсчитано, в частности, что при подъеме уровня океанов на 1-2 м будет затоплено 20% территории Бангладеш и сельскохозяйственных угодий Египта, пострадают крупные города Китая и Нигерии (Шанхай, Лагос). Более низкий уровень подъема морских вод также приведет к существенным последствиям. Его повышение на 0,2 м обусловит изменение периодичности затопления приморских территорий со ста до 5-20 лет. При возрастании уровня на 0,3 м катастрофическим наводнениям подвергнется Венеция: площадь Сан-Марко в ней только в результате приливов станет затопляться ~ 360 раз в году. Повышение уровня океана на 0,6 м, по-видимому, приведет к отступлению береговой линии в глубь суши на 40-120 м.

Резко усилятся экологические катастрофы открытых морских акваторий, побережий морей и океанов, обусловленные ветровыми волнениями, штормовыми накатами и нагонами. Их ущерб может быть чрезвычайным. Так, в 1990 г. штормовой накат на побережье Мексиканского залива унес около 2 тыс. человеческих жизней, в 1973 г. аналогичная участь постигла Бангладеш (300 тыс. погибших), в 2004 г. волны цунами погубили более 300 тыс. человек в районах Юго-Восточной Азии.

В целом повышение уровня Мирового океана в результате «парникового» эффекта может отрицательно повлиять на жизнь населения 30 стран.

Вместе с тем выдвигаемые причины развития мировой экологической катастрофы в результате повышения уровня Мирового океана при внимательном анализе представляются весьма уязвимыми для критики.

Действительно, как уже отмечено, эти причины сводятся к таянию материковых и плавающих (морских) льдов, тепловому расширению океанических вод. Оценим, насколько угрожающи эти факторы в настоящее время и в реально прогнозируемом будущем. Прогнозы, судя по судьбе всемирно известных эколого-экономических сценариев, подготовленных лучшими научными силами, становятся очевидно несостоятельными уже через несколько десятилетий. Наиболее известный пример этого — модель Медоузов 70-х годов 20 в., показавшая исчерпание основных природных ресурсов к концу 20 в. По нашему мнению, прогнозы экологического характера пока еще близки к гипотезам, т.е. предположениям, требующим дополнительного подтверждения (Кн. 4, разд. 7.4.3).

Итак, причина первая: *таяние материковых льдов*. Оценка по справочным данным (*Малый...*) показывает, что подавляющее коли-

чество материкового льда находится в ледниковых щитах Антарктиды (более 85%) и Гренландии (около 15%). На долю горных ледников на других участках планеты приходится не более 1%. Таким образом, изменение уровня Мирового океана есть, по существу, функция устойчивости льдов Антарктиды и Гренландии.

Глобальный экологический кризис при наличии первой причины неизбежен, так как она приведет к поступлению значительных дополнительных объемов вод Антарктиды и Гренландии в Океан. Его уровень при этом заметно повысится.

Покажем возможные значения подъема уровня, приняв для расчета следующие незначительно округленные исходные данные (*Малый...*): площадь Мирового океана — 360 млн км², Антарктиды — 12,5 млн км², плотность воды и льда соответственно 1,0 и 0,9 г/см³, средняя высота ледникового щита Антарктиды около 2 км. Простейший расчет $(12,5 \cdot 0,9 \cdot 2 / 360)$ с переводением результата в метры показывает, что повышение уровня Океана составит 62,5 м. Учет массы Гренландских льдов при площади острова 2,18 млн км² и толщине ледового покрова 1,79 км повысит уровень до 72 м. Поскольку часть растаявшего льда не попадет в Океан, а образует озера на суше, то данные расчета в какой-то степени завышены. Однако в любом случае реализация рассмотренного сценария была бы катастрофой для современной человеческой цивилизации. Но сценарий нереален, поскольку нет никаких оснований в обозримом будущем для хотя бы начала потепления в Антарктиде (разд. 1.6.1) и, как показывает нижеследующий расчет, для Гренландии.

Оценим толщину льда Гренландии, которая может истаять за год под влиянием антропогенных тепловых выбросов в окружающую среду.

Исходные данные: глобальное энергетическое потребление органического топлива (нефть, газ, уголь, др.) — 12 млрд т условного топлива (т.у.т) в год с начала текущего века, что составляет 80% всех энергетических ресурсов от используемых человечеством; теплота сгорания условного топлива — 7000 ккал/кг; теплота плавления льда — 79,7 кал/г; плотность льда 0,9 г/см³; выделяемое тепло полностью и равномерно поглощается сушей и поверхностью Океана. Тогда, учитывая площадь Гренландии, толщину ее ледяного покрова и выполняя расчеты в единой размерности, при площади Земли 510 млн км², получим, что масса растапливаемого льда $(2,18 \cdot 12 \cdot 10^9 \cdot 7 \cdot 10^9) / (510 \cdot 79,7 \cdot 10^6)$, т.е. 4,5 млрд т, или 5 млрд м³. Толщина растаявшего льда составит $5 \cdot 10^9 / 2,18 \cdot 10^{12}$ м, или 2,3 мм, подъем уровня Мирового океана $(2,3 \cdot 0,9 \cdot 2,18 / 360)$ не превысит 0,0125 мм/год. Продолжительность таяния льдов Гренландии — 780 тыс. лет.

Представленный расчет дает завышенный результат таяния, так как исходные данные предусматривают равномерное распределение тепловой энергии антропогенного происхождения по поверхности суши и океана, не учитывается рассеивание энергии в атмосфере. Однако район Гренландии безлюден, рассеянная энергия антропогенного характера может поступать туда только из обжитых территорий, т.е. с мощностью ниже средней. Кроме того, лишь несколько процентов энергии реально поступает на таяние льда, с учетом ее отражения от него и рассеивания в окружающем пространстве. Учет этих допущений снизил бы результат расчета (толщину протаявшего льда) на 1-2 порядка. Но в нашем случае это не имеет особого значения. Даже полученный результат расчета достаточен для уверенного вывода об отсутствии реальной угрозы таяния льдов Гренландии и, с еще большим основанием, Антарктиды вследствие антропогенного воздействия.

Напомним, что имеется в виду только глубина прогноза, основанного на современных масштабах и тенденциях роста мирового энергетического потребления (в пределах одного порядка).

Причина вторая: *таяние плавучих льдов*. При ближайшем рассмотрении оказывается (это отмечает Ю.В. Лупачев в качестве парадоксального), что таяние плавучих морских льдов не может привести к повышению уровня Океана. Однако это парадоксальное, только на первый взгляд, утверждение объясняется фундаментальной особенностью кристаллического строения льда. Она приводит к тому общеизвестному факту, что плотность льда меньше, чем жидкой воды, и он плавает, а не тонет. В общем случае, как правило, вещество в твердом состоянии имеет большую плотность, чем в жидком, и жидкая фаза вещества располагается над его твердой частью (Кн. 1, разд. 2.5.4). Поэтому при таянии плавучих льдов, в том числе Северного ледовитого океана и Антарктики, объем образовавшейся воды окажется меньше, чем льдов. Следовательно, уровень Океана даже понизится.

Однако в настоящее время отсутствуют какие-либо предпосылки для реализации этого сценария. По отношению к антарктическим морям вопрос об истаянии их ледового покрова пока вообще не ставится. Правда, имеется достаточно много публикаций, в которых допускается истончение льдов и сокращение их площади в Северном ледовитом океане в тот или иной период, например, ориентировочно, с 3 м во время дрейфа «Фрама» (1893-1896) до 2,2 м во время дрейфа «Седова» в 1937-1940 г.г. Однако анализ более длительного периода (весь 20 в.) выявил четыре внутривековые стадии разрастания и сокращения ледового покрова. По данным ученых Арктического и Антарктического НИИ (Санкт-Петербург), первая стадия — два начальных десятилетия века с повышением температуры на 1°С в широтном поясе 65-85 градусов.

Вторая стадия — сокращение льдов с 1918 г., отступление их кромки на 120 км к Северу, уменьшение площади ледникового покрова на 1 млн км². Третья стадия — с конца 40-х до конца 60-х годов, сопровождаемая увеличением площади и толщины льда, снижением скорости дрейфа. Четвертая стадия — конец 60-х годов и вплоть до начала нового века с сокращением площади льдов к 1990 г. на 1 млн км² (Лед...). Эти внутривековые стадии изменения ледовой обстановки, в соответствии с данными акад. К.Я. Кондратьева, хорошо коррелируют с изменением средней температуры в течение 20 в. Аналогичные, а иногда и более сильные, циклические колебания климата известны и в геологическом прошлом Земли, в отсутствие человеческого фактора. При этом изменения уровня Мирового океана превосходили 100 м при их скорости более 1 м за 1000 лет, т.е. 1 мм/год (Кондратьев..., 2001). Но данные факты свидетельствуют не о том, что повышение уровня Мирового океана связано с температурными аномалиями атмосферы или океанического бассейна, а о других причинах, например тектонических подвижках океанического дна (см. далее).

Таким образом, указание на таяние плавучих льдов как возможную причину повышения уровня Мирового океана — плод недостаточной естественно-научной подготовки дискуссионщиков.

Причина третья: *тепловое расширение океанических вод*. Ю.В. Лупачев для оценки этого явления принял повышение ΔT температуры воды, в результате парникового эффекта, на 1 К в верхнем слое H_n перемешивания вод (50 м) и коэффициент K объемного расширения воды $1 \cdot 10^{-4}$. Формула для расчета повышения среднего уровня Δh Океана:

$$\Delta h = k H_n \Delta T \quad (1.3)$$

Найдено, что Δh равно 5 мм.

Приняв K по фундаментальному справочнику равным $2,1 \cdot 10^{-4}$ (*Кэй...*), получим h соответствующим 10 мм (при равной площади коэффициенты объемного и линейного расширения численно совпадают).

Можно полагать, что оценка уровня подъема Океана, выполненная Ю.В. Лупачевым, дает очевидно завышенный результат из-за нерелевантных принятых значений H_n и ΔT .

Действительно, уже отмечавшиеся (разд. 1.6.1) оценки американскими и советскими учеными последствий глобального ядерного столкновения двух сверхдержав показывают, что в результате наступления «ядерной» зимы температура атмосферы упадет в среднем на 45°К, но температура океана понизится только на 1,5°С в его поверхностном слое. Используем эти данные применительно к развитию парникового эффекта — процесса, противоположного похолоданию (ядерной зиме).

Примем, что температура повысится на $4,5^{\circ}\text{K}$. В настоящее время это наиболее высокая из имеющихся оценка прогрева атмосферы к середине 21 — началу 22 в.в., но и она в 10 раз меньше, чем похолодание в условиях ядерной зимы. Снижение градиента температур в 10 раз (с 45 до $4,5\text{K}$) означает, в соответствии с формулой (1.3), такое же снижение степени прогрева воды (с 1,5 до $0,15\text{K}$) в слое ее, равном 50 м. Расчет по формуле (1.3) при $\Delta T=0,15\text{K}$, $h=50$ м и $K=2,1\cdot 10^{-4}$ дает величину теплового расширения Океана, равную 1,575 мм.

Оценки Ю.В. Лупачева и наша при H_n , равном 50 м, заведомо некорректны. Известно, что 94% падающей на поверхность воды энергии поглощается в слое 1 см (Лазарев). Оценки теплового расширения океанических вод с произвольно выбираемыми, без доказательств согласованности, значениями H_n и ΔT , как в работе Ю.В. Лупачева, дают, в общем, случайный результат.

Повысить степень согласованности до научной можно, приняв во внимание, что для участка площадью S произведение $H_n \cdot \Delta T \cdot S$ имеет ясный физический смысл. Он в том, что есть некий объем $H_n \cdot S$, в котором температура изменилась, допустим, повысилась, вследствие подвода в него тепла. Тогда при постоянном S произведение $H_n \cdot \Delta T$ пропорционально количеству тепла, а при стабильном его притоке $H_n \cdot \Delta T$ также const. Следовательно, при известном количестве подводимой теплоты можно, например, задать значение H_n и вычислить ΔT . Или, выбрав ΔT , определить H_n . И в том и в другом случае, используя (1.3), при $H_n \cdot \Delta T$ const получим одно и то же значение Δh , зависящее только от количества подведенного тепла.

Оценим изменение уровня Мирового океана при изложенном подходе. Исходные данные частично повторяют использованные при расчетах таяния льдов Гренландии (глобальное энергетическое потребление органического топлива, теплота сгорания условного топлива, равномерное распределение тепловой энергии антропогенного происхождения по поверхности Земли, неучет рассеивания энергии в атмосфере). Дополнительно в расчетах использовали величины площади Земли (510 млн км^2), Океана (360 млн км^2), прогреваемого слоя последнего (1 см), удельной теплоемкости воды (1 кал/ $\text{г} \cdot ^{\circ}\text{C}$). Результаты расчетов:

теплота, поглощаемая Океаном = $12 \cdot 10^9 \cdot 7 \cdot 10^9 \cdot (360/510) = 59,3 \cdot 10^{18}$ кал;

объем прогреваемого слоя Океана = $360 \cdot 10^{16} \cdot 1 = 3,6 \cdot 10^{18}$ см^3 ;

повышение температуры прогреваемого слоя = $59,3 \cdot 10^{18} / 3,6 \cdot 10^{18} \cdot 1 = 16,5^{\circ}\text{C}$;

термическое расширение Δh Океана = $2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 16,5 = 34,6 \cdot 10^{-4}$ см = $0,035$ мм/год.

Полученный порядок величины теплового расширения Океана за счет антропогенного фактора исчезающе мал, но и он, как и в расчете по таянию гренландских льдов, завышен на 1-2 порядка. Из оценки следует явно успокаивающий вывод, что даже при 100-кратном повышении человечеством уровня энергопотребления подъем Мирового океана не превысит нескольких десятых миллиметра в год.

Таким образом, оценка всех трех вышерассмотренных причин возможного изменения уровня Мирового океана дает результаты, не сопоставимые с известными ранее прогнозами, предсказывающими повышение уровня океанических вод на несколько метров в обозримом будущем за счет развития парникового эффекта, или, по-видимому, с фактическим его увеличением на 0,1-0,2 м в 20 в. (Кондратьев... 2001), а также с данными об интенсивности подъема его уровня до 3-6 мм ежегодно (Лупачев) и т.д.

Неизбежен вывод, что должна быть какая-то иная причина возможного возрастания уровня Мирового океана, не связанная с температурными аномалиями атмосферы и, тем более, океанического бассейна. И она известна.

Так, по данным докладов японских геологов на 29 сессии Международного геологического конгресса в Киото (1991 г.), действительная величина общего подъема уровня Мирового океана не превышает 0,8 мм/год, или 8 см за столетие. Эта цифра более чем на порядок уступает размаху современных вертикальных тектонических движений, которые являются определяющими как для трансгрессий (наступление моря на сушу) на одних участках побережий, так и регрессий (отступление моря) — на других (К проблеме...).

Возможны также поступление подземных вод через разломы океанического дна и неизвестные пока науке причины типа обуславливающих быстрый рост уровня Каспийского моря в настоящее время, которому несколько десятилетий тому назад предшествовало его столь же быстрое снижение.

Заканчивая обсуждение возможного антропогенного воздействия на уровень Мирового океана, можно полагать, что расчеты автора лишь подтвердили очевидное, которое, что невероятно, не принимают во внимание апологеты очередного мирового катаклизма, обусловленного, как они полагают, человечеством. Но это не так.

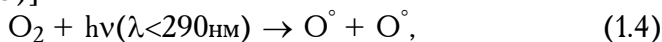
Возможности человечества заметно изменить тепловой поток на поверхность Земли чрезвычайно низки. Он всецело определяется падающей на нее солнечной энергией, которая составляет 10^{25} Дж/год. Общее энергопотребление человеческой цивилизации, включая энергию ГЭС и АЭС, составляет лишь 4-5 стотысячных солнечного потока. И если уровень солнечной активности снижается — идет похолодание,

повышается — неизбежно потепление. Поэтому вклад четырех-пяти человеческих сотысячных в изменение уровня Мирового океана всегда будет исчезающе мал в сравнении с возможностями могучего природного источника — Солнца. Во всяком случае, этот вклад далек от включения правила 1%. В соответствии с ним, лишь отклонения, достигающие 1% энергетического потока, могут коренным образом изменить характер экосистемы (разд. 1.8.1).

1.6.4. Разрушение озонового слоя

Этот слой (озоносфера, озоновый экран) расположен в пределах стратосферы на высотах от 7-8 на полюсах до 50 км на экваторе. Концентрация молекул O_3 в нем в 10 раз больше, чем у поверхности Земли. Озоновый слой невелик — всего 5 мм в условиях приповерхностного слоя Земли.

Механизм образования озона разработан Чепменом (1930 г.). В соответствии с ним, озон возникает при воздействии жесткой ультрафиолетовой солнечной радиации с длинами волн менее 290 нм на двухатомный кислород. При этом часть молекул последнего распадается на атомы [реакция (1.4)], которые, взаимодействуя с O_2 , образуют озон [реакция (1.5)]:



где $h\nu$ — величина кванта солнечной энергии; точка над символом атомарного кислорода означает его возбужденное, высокорекреационное, состояние.

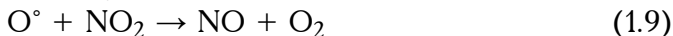
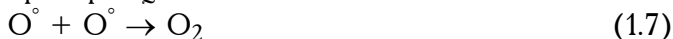
Молекула озона, взаимодействуя с квантом ультрафиолетовой радиации, поглощает его, образуя двухатомный и атомарный кислород:



Атомарный кислород вновь взаимодействует с двухатомным кислородом [реакция (1.5)], возмещая O_3 . Таким образом, в условиях неразветвленной цепной реакции небольшого количества озона достаточно для поглощения квантов ультрафиолетового излучения и защиты от него биосферы.

До поверхности Земли доходит лишь менее жесткая часть УФ-лучей с длиной волны $\sim 300-400$ нм, энергии которых недостаточно для взаимодействия с озоном. Эта часть, в отличие от поглощенной озоном, относительно безвредна и по ряду параметров необходима для нормального развития и функционирования живых организмов.

Образующийся по реакциям (1.4), (1.6) атомарный кислород не только участвует в синтезе озона по реакции (1.5), но и рекомбинирует при встрече друг с другом, озоном, естественными атмосферными примесями (NO_x , H_2O , SO_2 , CO_2 , CH_4 и др.), образуя двухатомный кислород, например по реакциям

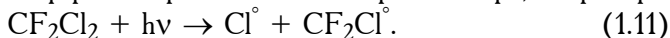


В реакциях (1.9), (1.10) оксиды азота или, аналогично, другие смеси являются катализаторами, участвующими в элементарных актах реакции типа (1.8).

Рассмотренные взаимодействия составляют естественный механизм поддержания равновесных концентраций озона в стратосфере. В среднем молекула озона живет около 50 сут. Этот механизм в последнее время, возможно, находится под угрозой. Начиная с 1985 г., появляются данные, что в атмосфере есть пространства с заметно пониженным содержанием O_3 . По некоторым источникам, за период наблюдений с 70-х годов до наших дней количество стратосферного озона уменьшилось в Антарктиде на 7-8%, в Арктике — на 6, в Австралии — на 4, в Канаде и северных штатах США — на 3%, а в среднем оно снизилось на 3-4%.

Полагают, что основной причиной утончения озонового слоя, помимо различных физико-географических факторов, служит наличие в атмосфере значительных количеств антропогенных галогенуглеродов, таких как CFCl_3 , CF_2Cl_2 , CF_2ClBr , CF_3Br и др., являющихся производными простейших алифатических углеводородов. Они широко использовались в производстве и быту в качестве хладагентов, пенообразователей, растворителей и т.д. Их выбросы в атмосферу в 1985 г. превысили 1,4 млн т.

Галогенуглероды под действием света активно разрушаются в верхних слоях атмосферы с образованием атомарного хлора, например:



Наличие атомарного хлора обуславливает возникновение каталитической реакции разрушения озона, аналогично оксидам азота, также суммарно приводящей к взаимодействию (1.8). Элементарные стадии этой реакции:



Уничтожение озона в цепных реакциях с участием ХФУ (фреонов) весьма опасно, так как длина цепей велика — одна молекула любого из них разрушает тысячи молекул O_3 , а в озоновой дыре над Антарктидой уровни ClO в 20-50 раз выше, чем где-либо в другом месте планеты.

Полагают, что снижение концентрации стратосферного озона на 25% и возросшее в связи с этим поступление на земную поверхность УФ-радиации приведут к началу деградации экосистем. Вследствие нарушения обмена веществ сельскохозяйственных культур и воздействия на них микроорганизмов-мутантов снизится урожайность, начнется гибель фитопланктона в океане, будет ослаблена иммунная система человека, увеличится количество раковых заболеваний людей (по данным ВОЗ, рост до 6% на 1% снижения в атмосфере O_3). С 3 до 12 отн. % возрастет концентрация тропосферного озона, что интенсифицирует окисление низших оксидов азота, серы, углерода. Это приведет к усилению кислотных дождей.

Международное сообщество, обеспокоенное сложившимся положением, провело ряд обсуждений проблемы озонового слоя. В 1985 г. была принята Венская конвенция об его охране. В Конвенции провозглашалась общая цель: сохранение озонового слоя и консультации по предотвращению действий, наносящих ему ущерб. Конкретные действия в защиту озонового слоя были изложены позже в Протоколе к Конвенции, принятом в 1987 г. в Монреале. Его ратифицировали 70 стран, и он вступил в действие с 1 января 1989 г. Страны, подписавшие Протокол, обязались не превышать уровень производства фреонов-11, 12, 113, 114 и 115, достигнутый в 1986 г., сократить его до 50% к 1998 г., а к 2010 г. — ликвидировать полностью. В рамках выполнения Монреальского протокола Россия к началу 2001 г. оставила производство фреонов — 11, 12 (*Сывороткин*).

Исследования на математических моделях показали, что ограничения Монреальского протокола недостаточны для сохранения озонового слоя в 21 в. Поэтому в Лондоне (1990 г.) были сформулированы поправки к Монреальскому протоколу, существенно усилившие ранее принятые ограничения. Так, производство и использование хлорфторуглеродов СFC (фреонов-11, 12, 113, 114 и 115) должно было составить 50% от уровня 1986 г. уже в 1995 г., а в 2000 г. — полностью прекратиться. Однако некоторые из наиболее опасных бромсодержащих фреонов, весьма эффективные как вспениватели, все же будут использоваться в экстраординарных случаях тушения пожаров: в самолетах, подводных лодках, хранилищах национальных ценностей и т.п. Производство более безопасных хлорфторуглеродов, содержащих атомы водорода (НСFC), будет последовательно снижаться и прекратится к 2030 г.

Взамен СFC и HCFC налаживается выпуск соединений типа HFC (гидрофторуглеродов) и FC (фторуглеродов, не содержащих атомов хлора и по этой причине рассматриваемых как абсолютно озонобезопасные вещества, активность которых по отношению к фреонам составляет 0,0-0,1). Однако следует учитывать, что заменители фреонов имеют большую продолжительность жизни в атмосфере: свыше 10 тыс. лет у CF_4 , C_2F_6 и CF_8 против 50-500 лет у СFC. Это обстоятельство может привести к усилению парникового эффекта, так как заменители фреонов также относятся к парниковым газам. Полагают, что в любом случае разрушительные последствия, вызванные уже выброшенной массой фреонов, будут ощущаться около 100 лет.

Помимо пассивных методов сохранения и восстановления озонового слоя (использование взамен фреонов озонобезопасных веществ), рассматриваются активные способы (химические и электромагнитные), призванные снизить интенсивность разрушения озона либо ускорить его образование. К химическим относят, например, предложения об инъекции в стратосферу над Атлантикой этана C_2H_6 , пропана C_3H_8 или метана CH_4 , которые будут связывать атомарный хлор в неактивный по отношению к озону хлористый водород. Электромагнитная обработка (лазерное и УФ-излучение, СВЧ-разряды в тропосфере) должна способствовать фотодиссоциации O_2 и образованию O_3 . Однако апробация активных способов озонореставрации в природных условиях пока отсутствует (Как...).

Следует отметить, что не все специалисты разделяют тревогу по поводу проблемы озоновых дыр. Президент международного фонда «Экология человека» акад. А.Капица, ссылаясь на последние исследования российских ученых, в 1995 г. заявил, что фреоны не разрушали и не разрушают озоновый слой. В подтверждение приводится тот факт, что 80% выбросов фреонов приходится на Северное полушарие Земли, а основная озоновая дыра расположена над Антарктидой (Известия. — 1995 г. — №86). А. Капица считает, что концентрация озона в стратосфере меняется сезонно. Его позицию поддерживают и другие, в частности проф. О.Г. Сарохтин. Е.А. Жадан отмечает, что используемые модели не учитывают долговременного изменения Океана и динамики атмосферы на эволюцию озонового слоя: вклад антропогенных факторов в тренды содержания O_3 не превышает 50%. Как полагает В.Л. Сывороткин, главная причина переоценки влияния антропогенного фактора на озоновый слой заключается в том, что не учитываются естественные потоки озоноразрушающих веществ, которые на 3-4 порядка превосходят поток фреонов любой природы.

1.6.5. Нарушение круговорота кислорода

Известна крайняя точка зрения, согласно которой расход кислорода на порядок выше, чем его приход — соответственно $2,16 \cdot 10^{10}$ и $1,55 \cdot 10^9$ т/год (Реймерс... 1990).

Тем не менее можно полагать, что круговорот кислорода еще не стоит на пороге его нарушения человеком и в настоящее время в природе существует устойчивое равновесие между количествами кислорода, образующегося в процессе фотосинтеза и поглощаемого при дыхании и гниении. Из каждых 10 тыс. частей фотосинтезированного O_2 только четыре не поглощаются мортмассой при ее разложении и живыми организмами при дыхании. Однако они расходуются на окисление углеводов (нефть, природный газ) и угля при их выходе на поверхность или при сжигании.

Опасения о возможном уменьшении количества атмосферного кислорода вследствие увеличения сжигания ископаемого углерода необоснованны. Подсчитано, что одновременное использование всех доступных человечеству залежей угля, нефти и природного газа уменьшит среднее содержание кислорода в воздухе с 20,95 до 20,80%. Сравнение с наиболее точными анализами 1910 г. показывает, что, в пределах погрешности измерения, изменения содержания кислорода в атмосфере к 1980 г. не произошло.

Исчезновение кислорода в гидросфере даже при сбросе в нее большинства современных отходов также не грозит опасностью. Из расчетов Брокера следует, что при десятиллиардном населении планеты (примерно в 1,7 раза больше, чем сейчас) ежегодный сброс в море по 100 кг сухих органических отходов в расчете на каждого жителя (значительно выше нынешней нормы) потребует порядка 2500 лет для израсходования всего запаса кислорода гидросферы. Это больше, чем продолжительность его возобновления.

Брокер заключает, что содержание O_2 в атмосфере неограниченно в сравнении с человеческими потребностями в нем и что почти аналогичная картина наблюдается для гидросферы. Он пишет: «если существованию человеческого рода будет серьезно грозить опасность загрязнения окружающей среды, то он скорее погибнет по какой-либо другой причине, чем из-за недостатка кислорода» (цит. по Рамаду).

1.6.6. Перенаселенность планеты

Достаточно распространена точка зрения, в соответствии с которой все экологические проблемы обусловлены по существу одной причи-

ной — относительной перенаселенностью Земли, увеличивающейся быстрыми темпами. Если в эпоху Древнего мира численность людей оценивалась в 30 млн, в Средние века — в 300 млн, в начале прошлого столетия — в 1,8 млрд, то в конце 80-х годов 20 в. она достигла 5 млрд, а в 1999 г. — 6 млрд. Часто высказывается мысль, что оптимальная численность землян составляет 1 млрд («золотой миллиард»).

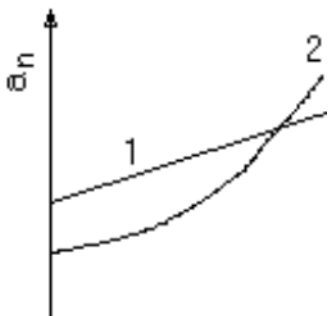


Рис. 1.1. Изменение величины n членов положительной арифметической (1) и геометрической (2) прогрессий

растающей геометрической прогрессии обгонит по величине член аналогичной арифметической прогрессии, если даже первоначально он был меньше (рис. 1.1). После этого, применительно к обсуждаемой проблеме, количество средств существования, приходящихся на душу населения, начнет снижаться, будет расти абсолютное обнищание людей. Выход из трагической ситуации Т.Мальтус видел в том, чтобы естественное размножение людей всегда встречало определенные препятствия (предупредительные и разрушительные).

Предупредительные препятствия, по Мальтусу, означают способность людей управлять своими биологическими инстинктами. Долг каждого — производить на свет только такое количество детей, которое он сможет воспитать и прокормить (иными словами, нельзя плодить нищету — В.Л.). Страх перед нищетой должен быть сильнее, чем реальные нищета и болезни. Знание о предупредительных препятствиях необходимо распространять в народе, развивая его образование.

«Разрушительные препятствия» весьма разнообразны... все вредные для здоровья занятия, тяжелый труд... крайняя бедность, даваемое детям дурное воспитание, жизнь в больших городах, излишества

Перенаселенность планеты как научную проблему впервые сформулировал Томас Роберт Мальтус, английский священник и экономист (1766-1834 гг.). В 1798 г. он анонимно опубликовал «Эссе о принципе народонаселения и его влиянии на будущее совершенствование с замечаниями о рассуждениях мистера Годвина, М. Кондорсе и других писателей». Обычно работу Т. Мальтуса называют короче: «Эссе о принципе народонаселения» или просто «Эссе». В книге Т. Мальтус утверждал, что рост численности людей происходит в геометрической, а средств существования — в арифметической прогрессии. В этом случае математика однозначно показывает, что неизбежен момент, когда член воз-

всякого рода. За этим идут вереницей повальные болезни и эпидемии, войны, чума и голод.»

Вместе с тем Т. Мальтус считал, что ограничения численности людей нельзя добиваться на пути возрастания разрушительных препятствий. «Враги, с которыми я борюсь, суть нищета и порок... То обстоятельство, что всякая убыль населения всегда легко восполняется его естественным приростом, с нравственной точки зрения не может служить и тенью для извинения безумного жертвования людьми, уже существующими. Положительное зло, причиняемое их гибелью, страдания, нищета, несчастье, разорение, вызываемое таким преступным жертвованием, ни в коем случае не могут быть уравнены соображением, что численная потеря людей легко и скоро может быть пополнена» (Юсфин...).

Современные мальтузианцы (неомальтузианцы) усматривают выход в еще более системном регулировании рождаемости, которая в человеческом сообществе является не столько биологической, сколько социальной проблемой. Значительные надежды в этом плане возлагаются на распространение просвещения, образования, культуры, в том числе медицинской, вовлечение женщин в общественное производство, поощрение государством, путем экономических и других рычагов воздействия, например в Китае, малодетных семей и т.д.

Ответить на вопрос, верны ли в целом взгляды Мальтуса, в настоящее время однозначно невозможно. Если западноевропейские и другие развитые страны во второй половине 20 в. имели устойчивое ежегодное повышение ВВП на 2-3% при нулевом или не более 1% естественном приросте населения, то, например, слаборазвитые страны Африки демонстрируют рост населения на ~2% при стагнации или незначительном (до 1%) увеличении валового внутреннего продукта и особенно продуктов питания. По-видимому, теория Т. Мальтуса окажется несостоятельной в том случае, когда развитые страны в рамках концепции устойчивого развития окажут всестороннюю помощь отстающим государствам и подтянут их уровень развития к собственному.

1.7. Другие антропогенные изменения природной среды

Наряду с рассмотренными выше глобальными экологическими проблемами, реализация которых в худших сценариях поставит под угрозу существование человечества и нарождающейся ноосферы в целом, имеется ряд более частных процессов деградации окружающей среды, вызванных хозяйственной деятельностью людей. Эти процессы достаточно

многочисленны, часть их рассматривается в специальных разделах курса, поэтому здесь они только обозначаются. Все более усиливаются:

загрязнение атмосферы и в целом окружающей среды кислотными осадками и сильно ядовитыми веществами, являющимися следствием вторичных химических реакций (разд. 5.3.2.1);

распространение смоговых явлений над более чем 2200 крупными городами, в которых проживает свыше половины населения мира;

загрязнение океана, захоронение в нем ядовитых и радиоактивных веществ (дампинг), поступление антропогенных нефтепродуктов и других токсичных соединений, особенно тяжелых металлов и сложноорганических, подкисление мелководий за счет веществ типа SO_x и NO_x из загрязнений атмосферы (разд. 7.2 и 8.2);

истощение и загрязнение поверхностных вод суши, континентальных водоемов, подземных вод; нарушение баланса между поверхностными и подземными водами;

радиоактивное загрязнение локальных участков и отдельных районов в связи с текущей эксплуатацией атомных установок, авариями и испытаниями ядерного оружия (разд. 8.2);

изменение геохимии некоторых регионов планеты в результате, например, перемещения тяжелых металлов и солей и концентрации их на поверхности Земли при нормальном рассеивании в литосфере и трансграничных переносах;

накопление на поверхности суши ядовитых веществ, бытового мусора и промышленных отходов, в том числе практически неразложимых и очень стойких (пластмассы, резина и др.), поскольку в природе не существует их аналогов и она не имеет механизмов включения их в естественный оборот (разд. 7);

нарушение регионального экологического равновесия, в том числе экологического баланса и нормальных экологических связей между Мировым океаном, прибрежными водами и впадающими водотоками, как следствие строительства плотин, дамб и перемычек;

деградация, загрязнение почв и эрозия сельскохозяйственных земель (разд. 5.3), опустынивание.

Более подробного рассмотрения требует популярная тема сокращения лесистости планеты. Изначально она составляла 75% ее поверхности, однако в настоящее время снизилась до менее чем 27%. Особенно быстро уменьшается площадь тропических лесов, равная 0,95 млрд га, или 56% общей лесной площади. Из них ежегодно вырубается 11-13 млн, а восстанавливается только 1 млн га.

На этом основании делается вывод, что человечество ухудшает условия своего существования, так как растительность, и прежде всего

громадная масса лесов, — мощный источник выработки кислорода (реакция 1.1 фотосинтеза).

Поскольку положительная роль лесов в выработке O_2 обычно не подвергается сомнению, то в обществе растут тревожные ожидания, подогреваемые многочисленными публикациями, выступлениями популярных лиц и т.п. Полагают при этом, что необходимы меры по стимулированию международным сообществом тех стран, на территории которых находятся «легкие» планеты. Одно из них — тропические леса бассейна р. Амазонки (Бразилия), другое — необозримые леса России, прежде всего сибирские. Количество статей на тему «Россия — легкие планеты» перечислить невозможно. Укажем лишь на две последние в одном из номеров журнала, претендующего на лидерство в экологии и природопользовании:

«Россия, на территории которой находятся большие лесные массивы, где диоксид углерода превращается в углерод клетчатки растений и свободный кислород, должна иметь льготные квоты на сокращение выбросов CO_2 » (Крейнин);

«представляется целесообразным, чтобы страны-производители кислорода получали за него плату и использовали эти средства на содержание лесных массивов» (Абрамсон...).

Однако роль лесов в облагораживании атмосферы (поглощение CO_2 и выработка кислорода) не столь однозначна, как представляется. Распространенная точка зрения является следствием односторонней оценки влияния лесных массивов на состояние окружающей среды. Рассмотрим другую сторону проблемы, обычно не отмечаемую пишущими.

Да, действительно, реакция (1.1) бесспорна. Но бесспорна и обратная ей реакция, проявляющая себя в процессе дыхания живых организмов и при гниении (окислении) мортмассы (почвенное дыхание).

В настоящее время, как уже отмечалось (разд. 1.6.5), в природе существует устойчивое равновесие между количеством кислорода, образующегося в процессе фотосинтеза и поглощаемого при дыхании и гниении. Из каждых 10 тыс. частей фотосинтезированного кислорода только четыре не участвуют в этих процессах. Они расходуются на окисление углеводородов (нефть, природный газ и т.п.) и угля при их выходе на поверхность или при сжигании. Важно также отметить, что фотосинтез растений — следствие, а не причина появления кислорода в атмосфере. Кислородное дыхание возникло только тогда, когда он в ней появился. Не исключено, что значительная часть O_2 обусловлена не фотосинтезом. Он мог выделяться из горных пород при формировании металлического ядра Земли. Кислород в молекулярной форме

образуется также при диссоциации молекул воды и озона в верхних слоях атмосферы под воздействием ультрафиолетовой радиации.

Вместе с тем очевидно, что диоксид углерода, участвующий в фотосинтезе, задерживается *живым* растением, увеличивающим свою массу за счет наращивания количества простых углеводов и крахмала. При этом выделяется кислород в количествах, больших, чем необходимо для дыхания растений, прекративших свой рост.

После гибели растения при гниении мортмассы весьма сложная структура органики превращается в простые соединения типа CO_2 , H_2O , N_2 и др. Источником окисления мортмассы является кислород, выработанный сверх необходимого для дыхания растений. На этой же стадии высвобождается и поступает в окружающую среду CO_2 , ранее связанный при фотосинтезе.

Изложенные соображения позволяют выделить три, в общем, известных периода в развитии и гибели лесов и проявить их роль в балансе O_2 и CO_2 окружающей среды.

Первый период. Рост массы древесной растительности в экосистеме. Количества кислорода и связанной CO_2 возрастают пропорционально приросту массы лесных насаждений. При этом попытки увеличить массу последних дают только кратковременный результат, так как поверхность суши ограничена. В итоге леса переходят во второй период.

Второй период. Постоянная масса лесов в экосистеме. Приход и расход кислорода и диоксида углерода в прямом и обратном процессах фотосинтеза равны. В этом случае лесные насаждения не оказывают влияния на кислородный баланс планеты.

Третий период. Снижение массы лесов, например при вырубке. Остающаяся часть спелых лесов находится по-прежнему во втором периоде. Лесоматериалы, выброшенные в народное хозяйство, гниют или сжигаются, отдавая в окружающую среду CO_2 процесса фотосинтеза и потребляя при этом избыточный кислород первого периода.

Таким образом, непрерывное воспроизведение первого, второго и третьего периодов приводит к нулевому балансу выделившегося в лесной зоне кислорода и поглощенного ею диоксида углерода.

Изложенное позволяет точнее оценить значение амазонских и сибирских лесов в облагораживании атмосферы кислородом. Известно, что площадь амазонских лесов в результате неконтролируемых работ снижается (третий период), масса сибирской тайги находится во втором периоде, так как такой тенденции не обнаруживается (Кн. 1, разд. 13.5).

Отсюда следует, что высказывания о лесах Амазонки и Сибири как «легких» планеты — не более, чем звучные фразы. Претензии на

льготы для стран, имеющих такие «легкие», не имеют объективных оснований.

Более того. В познавательном плане интересно то изменение содержания кислорода в атмосфере, которое состоится, если «легкие» планеты исчезнут, т.е. леса, например, будут истреблены человечеством.

Очевидно, что кислород потребуется на превращение мортмассы лесов в исходные продукты фотосинтеза (CO_2 , H_2O). Для оценки его количества примем следующие исходные данные:

количество кислорода в атмосфере $5,16 \cdot 10^{21}$ г, его объемное содержание в ней 21%;

объем древесины в лесах России 81 млрд м^3 , или 22% мировых запасов. Последние при средней плотности древесины $0,6 \text{ т/м}^3$ равны 220 млрд т;

древесина на 100% представлена целлюлозой ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_5$)_n с содержанием углерода 46%, близкой к ней по составу гемицеллюлозой, а также лигнином с большей (61-64%), чем у целлюлозы, долей углерода.

Примем среднее содержание углерода в древесине равным 50%. Это отвечает соотношению масс целлюлозы и лигнина и составляет около 110 млрд т углерода в лесах планеты. Тогда, в соответствии с реакцией обратного фотосинтеза, на окисление этой массы углерода потребуется 294 млрд т кислорода ($2,94 \cdot 10^{17}$ г). По отношению к массе кислорода атмосферы это составит $2,94 \cdot 10^{17} / 5,16 \cdot 10^{21}$, или $0,57 \cdot 10^{-4}$. Снижение содержания кислорода атмосферы в таком случае равно $21 \cdot 0,57 \cdot 10^{-4}$ %, или около 0,001%.

Можно полагать, что сокращения содержания кислорода в атмосфере на 0,001% не заметят и самые ревностные сторонники сохранения лесов как «генераторов» кислорода.

Однако, несмотря на несущественную роль лесов в биосферном балансе кислорода, их влияние на человека через ряд других экологических факторов, бесспорно, позитивно. Лесные массивы снижают пыле-, газо- и шумозагрязнение окружающей среды. Они, как и другая растительность, выделяют фитонциды — биологически активные, в том числе газообразные, вещества, убивающие микроорганизмы. Это оздоравливает окружающую среду. Леса увеличивают декоративное разнообразие форм, красок и фактуры окружающего нас мира. Они просто красивы и могучи. Их изведение существенно снизит биоразнообразие Земли, т.е. подорвет основополагающий принцип концепции устойчивого развития — альфы и омеги современной цивилизации.

Размышления о роли леса — это размышления о соразмерности Красоты и Рациональности в грядущей эпохе Ноосферы.

1.8. Оценка состояния экосистем

1.8.1. Общие подходы

На уровне глобальных и других изменений природной среды естественно возникает вопрос, в каком состоянии находится биота?

Весьма часто констатируется, что на территории такого-то региона выбрасывается столько-то тонн загрязнителей, сохранилась такая-то лесистость, уловы рыбы снизились на столько-то тыс. тонн и т.д. Говорят, что чего-то стало «меньше» или «больше», чем тогда-то. При этом возникают вопросы: а много это или мало? Насколько хуже или лучше? Достигнут ли край экологической пропасти, или процесс обратим и находится в стадии *стабильного неравновесного состояния*, являющегося фундаментальным законом естественного развития биосферы? Приходится констатировать, что при современном уровне развития экологии как науки выработка критериев оценки состояния природной среды находится еще в начальной стадии. Как отмечает Н.Ф.Реймерс, никто не знает пределов надежности конкретных природных систем, их буферности и инерционности (Реймерс... 1992).

По этой причине вопрос об устойчивости природной среды находится в центре внимания экологов. Наиболее обстоятельно данная проблема рассмотрена Н.Ф.Реймерсом (на примере экосистем России) и В.Г.Горшковым (применительно к биосфере в целом с привлечением принципа Ле Шателье).

В некоторых случаях ориентировочную оценку состояния экосистемы можно дать, опираясь на два эмпирических обобщения, так называемые экологические законы одного и десяти процентов. Первый из них определяет предел энергетических возмущений, не влекущих трансформации биоты. Отклонения, достигающие 1% энергетического потока, могут коренным образом изменить характер экосистем. Это же происходит при 10%-х вариациях потоков веществ.

В открытых и весьма динамичных многоуровневых природных образованиях пределы в 1 и 10% являются достаточно ориентировочными. Реальные отклонения, по-видимому, могут быть на порядок или в несколько раз больше-меньше, что зависит от вектора динамики системы. При совпадении векторов ее развития с наметившимися изменениями энергетического и вещественного потоков перерождение возможно при минимальных величинах отклонений. В противоположном случае необходимы значительно большие изменения для погашения инерции развития системы.

Далее рассматриваются основные из разработанных в последнее время (90-е годы 20 в.) методы, относительно которых известны практические попытки их использования для оценки состояния экосистем различного масштаба.

1.8.2. Классификация Н.Ф. Реймерса

Н.Ф.Реймерс предложил экологическую оценку состояния природных систем по степени их деградации (ухудшения). В основу классификации положены показатели темпов самовосстановления, качественно-количественная характеристика биомассы и продуктивность ее воспроизведения. На основании этих критериев Н.Ф. Реймерс выделил следующие состояния экосистем.

Естественное — наблюдается лишь фоновое антропогенное воздействие, биомасса максимальна, биологическая продуктивность минимальна.

Равновесное — скорость восстановительных процессов выше или равна темпу нарушений, биологическая продуктивность больше естественной, биомасса начинает снижаться.

Кризисное — антропогенные нарушения превышают по скорости естественно-восстановительные процессы, но сохраняется естественный характер экосистемы, биомасса снижается, биологическая продуктивность резко повышена.

Критическое — обратимая замена под антропогенным воздействием прежде существовавших экологических систем на менее продуктивные (частичное опустынивание), биомасса мала и, как правило, снижается, биологическая продуктивность очень неоднородна и резко падает.

Катастрофическое — труднообратимый процесс закрепления малопродуктивных систем (сильное опустынивание), биомасса и биологическая продуктивность минимальны.

Коллапс — необратимая утеря биологической продуктивности, биомасса стремится к нулю.

На основании перечисленных состояний природной среды Н.Ф.Реймерс предложил также природно-медико-экологическую классификацию угасания природы, учитывающую наличие людей. Классификация насчитывает три градации.

Зона напряженной экологической ситуации — ареал, в пределах которого наблюдается переход состояния природы от кризисного к критическому, и территория, где отдельные показатели здоровья населения (заболеваемость детей, взрослых, чисто психические отклонения и т.п.) достоверно хуже нормы, существующей в аналогичных местах

страны, не подвергающихся выраженному антропогенному воздействию данного типа. Однако это состояние еще не приводит к статистически достоверному изменению продолжительности жизни населения и более ранней инвалидности людей, профессионально не связанных с источником воздействия.

Зона экологического бедствия — ареал, в пределах которого наблюдается переход от критического состояния природы к катастрофическому, и территория, на которой в результате антропогенного или природного воздействия невозможно социально и экономически оправданное (традиционное или научно обоснованное) хозяйство. Показатели здоровья населения (перинатальная, детская смертность, заболеваемость детей и взрослых, психические отклонения и т.п.), частота и скорость наступления инвалидности здесь достоверно хуже, а продолжительность жизни людей статистически достоверно ниже, чем на аналогичных территориях, не подвергавшихся подобному воздействию или бывших в том же ареале до констатации рассматриваемого воздействия.

Зона экологической катастрофы — ареал, в пределах которого наблюдается переход состояния природы от катастрофической фазы к коллапсу, что делает территорию непригодной для жизни (например, некоторые территории Приаралья или Сахеля); ареал, возникший в результате природного и антропогенного воздействия, смертельно опасный для постоянной жизни людей (они могут там находиться лишь короткое время, например зона Чернобыльской катастрофы); ареал разрушительных природных катастроф (мощное землетрясение, цунами и т.п.).

В соответствии с классификацией Н.Ф.Реймерса, природная система экологически равновесна до тех пор, пока является биологически обратимой, т.е. после снятия или снижения антропогенного давления переходит на путь эволюционного развития — от упрощенных и однообразных форм жизни к более сложным и разнообразным. В определенном смысле она стремится вернуться в положение, в котором находилась до антропогенного воздействия. Экосистема необратимо теряет экологическое равновесие только с переходом в состояние коллапса.

Несмотря на то что критерии Н.Ф.Реймерса носят качественный характер, он понимал предпочтительность расчетных показателей для экологической характеристики среды обитания, считая, что именно таким образом необходимо выявлять зоны потенциально напряженной экологической ситуации, экологического бедствия, катастроф.

Идеи Н.Ф.Реймерса реализованы в оригинальной разработке «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» (Минприроды, 1992). В ней изложены способы оценки

изменения как среды обитания человека, так и природной среды. В первом случае оцениваются состояние здоровья населения, воздуха и почв селитебной территории, питьевая вода, ее источники, рекреационные зоны, радиационные загрязнения; во втором — воздух, все виды вод, почвы, геологическая среда, растительный и животный мир, биохимическое состояние территории.

Не останавливаясь на деталях «Критериев...», опубликованных в доступной литературе (*Протасов*), отметим наиболее важные особенности этого документа.

Хотя в нем оценке подвергается множество факторов, но в ее основе лежит балльный принцип, всегда субъективный и поэтому по сути своей не являющийся научным (кн. 4, разд. 6.1). Медико-демографические критерии здоровья населения предусматривают, например, изменение структуры и увеличение смертности в 1,5 раза и более для ЗЭБ и в 1,3-1,5 раза для ЗЧЭС, отставание средней продолжительности жизни мужчин от аналогичных показателей на контрольных территориях на 3 и 2,5 года и т.д. Учитываемые параметры измеряются при этом в различных системах единиц, а их суммирование производится без каких-либо попыток выразить оценки в единой системе (кн.4, разд. 6.1).

Даже в тех случаях, когда в качестве критериев используются объективно определяемые единицы измерения, в их применение вносится существенный элемент субъективизма. В частности, при оценке степени загрязнения атмосферного воздуха по ПДК_{м.р} вводится понятие кратности превышения K , равное $C_{95}/ПДК_{м.р}$ (здесь C_{95} — концентрация загрязнителя в воздухе, которая в 95% случаев находится на уровне или ниже средней его концентрации). Далее для ЗЭБ, например, принимают, что K зависит от класса опасности загрязнителя:

Класс опасности загрязнителя	I	II	III	IV
K	5	7,5	12,5	20

Такая зависимость алогична. ПДК по определению являются концентрациями, являющимися безопасными. Их величины для различных соединений, естественно, разные. Например, для сернистого ангидрида в воздухе ПДК_{с.с} составляет 0,05, а для марганца и его соединений — 0,001 мг/м³. Это означает, что 0,05 мг/м³ SO₂ по воздействию эквивалентны 0,001 мг/м³ соединений марганца. Однако 1 ПДК равно 1 ПДК, независимо от класса опасности загрязнителя. Очевидно, что в общем случае вредное воздействие вещества определяется лишь величиной превышения уровня его ПДК [разд. 2.5, формула (2.15)].

Независимо от указанных и других недостатков появление «Критериев...» имеет позитивный характер, так как приучает экологов вы-

полнять свои оценки по сопоставимым методикам. Использование «Критериев...» позволило, в частности, впервые официально выявить и признать на правительственном уровне ряд российских территорий относящимися к зоне чрезвычайной экологической ситуации или экологического бедствия.

Закон об охране окружающей среды (2002 г.) сохранил преемственность по отношению к классификации Н.Ф. Реймерса и «Критериям оценки...». Он предусматривает зоны чрезвычайной ситуации; зоны экологического бедствия.

1.8.3. Применение принципа Ле Шателье

Использование этого принципа для оценки состояния природных систем в значительной степени связано с появлением работ В.Г.Горшкова. Принцип был сформулирован французским физико-химиком Ле Шателье (1885 г.) и отражает влияние различных факторов на положение (смещение) термодинамического равновесия: при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния равновесия, последнее смещается в направлении, при котором эффект воздействия ослабляется. Принцип Ле Шателье, будучи термодинамическим, справедлив безусловно только для неживых замкнутых систем. Они, как известно, не обмениваются веществом с окружающей средой. Возможность применения принципа Ле Шателье к неравновесным состояниям в физико-химической литературе отрицается. Более того, отмечается, что он не имеет общего характера и предложен как аксиома, не опирающаяся на какой-либо определенный физический закон (*Жуховицкий...*).

Биологические процессы, в отличие от происходящих в неживой природе, протекают в открытых системах, непрерывно обменивающихся веществом с окружающей средой, и неравновесны. Применительно к ним можно говорить только об устойчивом неравновесном состоянии, понятие о котором ввел Э.С.Бауэр (1985 г.). Они постоянно находятся в эволюционном процессе развития от простого к сложному, что сопровождается изменением генетического состава популяций, приспособлением организмов к условиям среды, образованием и вымиранием видов, преобразованием биогеоценозов, крупных экосистем и биосферы в целом. Полагать, что принцип Ле Шателье справедлив и для устойчиво-неравновесных (квазистационарных) природных систем — значит выходить за пределы его применения, очерченные самим автором, не приводя каких-либо доказательств корректности такого подхода.

Допустим, однако, вслед за В.Г.Горшковым, что устойчиво-неравновесное состояние можно принять за равновесное (в течение ко-

роткого для системы периода). Такое состояние часто определяют как *экологическое равновесие* — постоянная разница прихода и оттока энергии, вещества и информации поддерживающая экосистему в эволюционном состоянии, характерном для данного географического места и геологического периода. Примем также, как и В.Г.Горшков, что принцип Ле Шателье не применим к неэволюционным, или экологически неравновесным, системам. Посмотрим, какие выводы из этого последуют.

В своей основной работе, посвященной устойчивому состоянию окружающей среды, В.Г.Горшков, анализируя изменение концентрации CO_2 в атмосфере, отмечает следующее. Принцип Ле Шателье выражается в том, что при малых относительных возмущениях окружающей среды поглощение углерода биотой пропорционально приросту его концентрации в этой среде. В 19 в. выполнение данного принципа привело к большому возрастанию континентальной биоты в ответ на незначительный прирост атмосферной концентрации углекислого газа. Однако глобальный анализ землепользования, продолжает он, указывает, что на значительной территории континентальной части биосферы содержание органического углерода во второй половине 20 в. не возрастает, а падает, и это свидетельствует о нарушении принципа Ле Шателье: хозяйственная деятельность на освоенных площадях приводит к выбросам углерода в атмосферу, несмотря на увеличение в ней концентрации CO_2 . На малоосвоенных территориях суши органический углерод остается примерно постоянным, но они уже не способны компенсировать его выбросы в атмосферу с освоенных площадей. В то же время в биосфере в целом принцип Ле Шателье продолжает действовать, и океаническая биота, по-видимому, почти полностью поглощает выбрасываемый углерод, связанный с землепользованием на континентах. Таким образом, В.Г.Горшков, основываясь на нарушении принципа Ле Шателье, приходит к выводу о нестабильности биоты в масштабах освоенных континентов.

К еще более категоричному выводу о нарушении биосферы в целом приходит, применяя тот же принцип, К.Я.Кондратьев (1992 г.). Он отмечает, что океан ежегодно поглощает 4 Гт углерода, его прирост в атмосферу составляет 3,5 Гт, а выбрасывается в нее при сжигании ископаемого углерода только 5 Гт. Отсюда вытекает, исходя из необходимого равенства материального баланса приращенного (7,5 Гт) и выделившегося углерода, что континентальная часть отдает его ежегодно 2,5 Гт. Таким образом, биота не поглощает CO_2 от сгорания топлива, чтобы замедлить развитие парникового эффекта и связанное с ним повышение температуры, что соответствовало бы принципу Ле Шателье, а реагирует противоположным образом. Отсюда делается

вывод, что биота и окружающая среда теряют устойчивость, так как перестает действовать принцип Ле Шателье.

Выводы В.Г.Горшкова, К.Я.Кондратьева и других, будучи весьма существенными, приобретают мировоззренческий характер апокалиптического толка — критическая точка пройдена, окружающая среда в масштабах освоенных континентов выведена из экологически равновесного состояния, грядет глобальная экологическая катастрофа. Однако эти выводы некорректны и являются следствием известной логической ошибки, часто допускаемой в рассуждениях с использованием условно-категорических силлогизмов (*Гетманова*). Действительно, умозаключение В.Г.Горшкова сводится к следующему условно-категорическому силлогизму:

условное суждение: если система подчиняется принципу Ле Шателье,
то она экологически равновесна;

категорическое суждение: система не подчиняется принципу Ле Шателье;

заключение: система экологически неравновесна.

Здесь первая посылка — условное суждение, включающее основание «если система подчиняется принципу Ле Шателье» и следствие «то она экологически равновесна». Вторая посылка является простым категорическим суждением. Заключение «система экологически неравновесна» сделано по схеме «от отрицания основания к отрицанию следствия». Однако из курсов логики известно, что от отрицания основания к отрицанию следствия вывод делать нельзя. Таким образом, утверждение, что система экологически неравновесна, потому что не подчиняется принципу Ле Шателье, логически несостоятельно (здесь не анализируется другой ложный вывод условно-категорического силлогизма, допускаемый в схеме «от утверждения следствия к утверждению основания»).

Логически безупречны только умозаключения «от утверждения основания к утверждению следствия» и «от отрицания следствия к отрицанию основания». Они приводят к двум логически правильным выводам. Первый состоит в том, что система, подчиняющаяся принципу Ле Шателье, экологически равновесна. Второй заключается в том, что система, экологически неравновесная, не подчиняется принципу Ле Шателье. Для дальнейших рассуждений важен первый вывод, поскольку именно по принципу Ле Шателье предлагается судить об устойчивости системы, а не наоборот, как во втором случае.

Таким образом, если мы докажем, что экосистемы подчиняются принципу Ле Шателье, то сможем считать их равновесными. Для этого имеются необходимые данные, в том числе те, которые приводят В.Г.Горшков и К.Я.Кондратьев (но логически неверно их интерпретируют). Дело в том, что, совершая ошибку «от отрицания основания к

отрицанию следствия», они тем самым исключают наличие других, кроме отрицаемого, оснований, находящихся в причинной связи со следствием. Так, у человека нет, например, повышенного давления, но это не значит, что он непременно здоров. Возможны и другие основания болезни: высокая температура, насморк, кровотечение и т.д.

Приводимые названными авторами данные о выбросах CO_2 континентальными экосистемами в атмосферу в то время, когда его концентрация в ней растет, объясняются не нарушением принципа Ле Шателье, а другими факторами (основаниями) в рамках соблюдения этого принципа, которые В.Г.Горшков и К.Я.Кондратьев не учитывают.

Одним из таких факторов является температура и ее изменение. В.Г.Горшков, отмечая факт выбросов CO_2 в атмосферу на освоенных континентальных территориях, несмотря на увеличение атмосферной концентрации углекислого газа, одновременно указывал, что на этих освоенных, или северных, территориях имеет место похолодание. Он также отмечал, что на мало освоенных (южных) территориях суши количество органического углерода остается примерно постоянным и на них нет понижения температуры.

Из этих данных с очевидностью следует, что экосистемы ведут себя в полном соответствии с принципом Ле Шателье, поскольку на понижение температуры отвечают выбрасыванием в атмосферу углекислого газа из более медленно остывающего океана.

Сложный характер изменения температуры в целом с 1870 по 1965 г. (рис. 1.2), объясняется различными причинами: общим потеплением климата, начавшимся еще в начале 17 в. (разд. 1.6.1), вулканической деятельностью и, особенно, антропогенными выбросами аэрозолей в атмосферу. Последние два фактора, приводящие к снижению температуры (разд. 1.6.2), могут быть той причиной, которая обуславливает похолодание прежде всего на освоенных северных территориях и, как следствие, выбросы в атмосферу CO_2 в полном соответствии, еще раз отметим, с принципом Ле Шателье. Процесс похолодания явно выражен начиная с 1941-1943 гг. и, очевидно, с учетом антропогенного загрязнения, может продолжаться до сих пор (рис. 1.2).

Утверждение о продолжающемся похолодании находит подтверждение в новых научных данных.

А.И. Иванов обработал средние арифметические значения температур приземного слоя воздуха в Санкт-Петербурге за каждый календарный день с 1865 по 1997 г., получив по 365 средних арифметических значений температуры в году (данные за 29 февраля не учитывались). Оказалось, что количество температур, значение которых ниже математического ожидания, превышает количество температур, значение которых выше математического ожидания. Это приводит к выводу о клима-

тическом похолодании. Применение метода Монте-Карло с использованием найденного аналитического выражения функции распределения показало также, что, хотя климатические изменения в сторону оледенения Земли ощущаются сейчас, в климатическом смысле начало ледникового периода произойдет ориентировочно через 50-100 лет.

А.И. Иванов отмечает и то, что полученные данные и их климатологическая трактовка подтверждают результаты математической модели глобального изменения климата Земли (Сергин...), а также другой работы (Зубов). Последний полагает, что климат Земли постепенно меняется, наступает глобальное похолодание, приближается очередной ледниковый период.

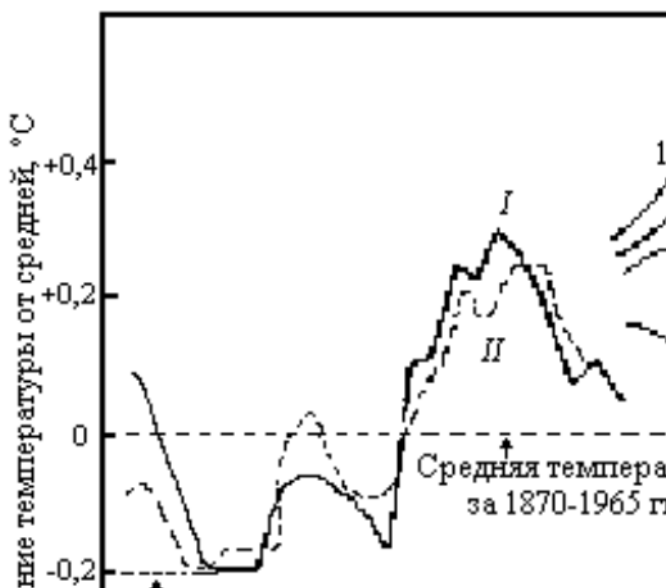


Рис. 1.2. Изменение средней температуры земной поверхности с 1870 по 1965 г.

I — широтная зона $0-80^{\circ}$ с.ш., II — широтная зона $0-60^{\circ}$ с.ш.
 Предполагаемое изменение средней температуры земной поверхности:
 1 — при увеличении только концентрации CO_2 ; 2 и 3 — наряду с увеличением концентрации CO_2 при удвоении массы примесей в стратосфере за 20 и 10 лет соответственно; 4 — при удвоении массы примесей в стратосфере за 10 лет (наряду с увеличением содержания CO_2) при условии, что влияние примесей в 2 раза эффективнее, чем в случае 3

Таким образом, применение принципа Ле Шателье, избавленное от логических ошибок, показывает, что общее состояние континентальных экосистем в настоящее время устойчиво. Естественно, следует не упускать из вида, что сама возможность применения этого принципа к анализу устойчиво неравновесных процессов является известным допущением, ждущим своего строгого обоснования.

Однако общее устойчивое состояние биосферы не исключает наличия отдельных экосистем с необратимым нарушением экологического равновесия. К ним относятся те, которые, по классификации Н.Ф.Реймерса, находятся в состоянии коллапса. Выйти из него в исторически обозримом будущем такие системы без содействия человека уже не могут.

Обеспечить эволюционное развитие биосферы с переходом ее в ноосферу, устранить угрозу существованию человечества как биологического вида призвана вырабатываемая в настоящее время концепция устойчивого развития (разд. 1.9).

1.8.4. Состояние природной среды и здоровье населения России

Состоянию природной среды и здоровью населения России посвящено множество работ, рассматривающих проблему преимущественно в описательно-экологическом плане, без применения известных критериев их оценки. Одним из немногих исключений является оценка состояния природных систем России по степени их угасания, выполненная Н.Ф.Реймерсом на основе разработанной им классификации (разд. 1.8.2).

Н.Ф.Реймерс охарактеризовал в экологическом отношении некоторые регионы и их воздействие на экосистемы мира, опираясь главным образом на данные по природным системам, поскольку достоверный фактический материал, описывающий состояние человеческой популяции, как он отмечает, достаточно скуден. Приводимая ниже характеристика Н.Ф.Реймерса (с дополнениями автора) в значительной степени посвящена состоянию морей, омывающих Россию.

Балтийское море находится в равновесном состоянии с приближением к кризисному. Постепенно растет концентрация долгоживущих стронция-90 и цезия-137. На глубине 80 м наблюдается скопление сероводорода. В донных отложениях накапливаются цинк и свинец, содержание которых в 10 и более раз выше, чем в литосфере. Открытые районы моря загрязнены химическими веществами, нередко на

уровне 2 ПДК. Невская губа уже в кризисном состоянии с тенденцией перехода в критическое.

По последним данным, реальную угрозу в настоящее время представляет химическое оружие, покоящееся на дне Балтийского моря со времен Второй мировой войны. В 1946-1947 гг. страны-победительницы (СССР, США, Великобритания, Франция), не зная, что делать с немецким химическим оружием, попросту затопили в море более 1,5 млн артиллерийских снарядов и авиабомб. Так, в проливе Скагеррак на глубине 40 м лежат 18 кораблей с оружием. Еще один такой могильник расположен у датского о. Готланд. Ученые петербургского Центра экологической безопасности РАН в результате недавней экспедиции выяснили, что на дне моря рядом с могильниками плодятся некие микроорганизмы, появление которых свидетельствует об утечке из боеприпасов ядовитых веществ. В околдонных водах обнаружен мышьяк (компонент химической начинки боеприпасов), концентрация которого превышает ПДК в 50-100 раз. Уже известно несколько случаев отравления датчан рыбой, в тканях которой были затем выявлены иприт и зарин — начинка затопленных боеприпасов. При этом ученые полагают, что им сейчас известна лишь пятая часть существующих на дне моря захоронений (Известия. — 2000. — № 71).

Белое море загрязнено нефтью (1,5-2,0 ПДК), фенолами и другими продуктами лесохозяйственного комплекса и находится в состоянии, близком к кризисному, местами — к критическому.

Экосистемы Баренцева моря — кризисно-критические, в ряде случаев — катастрофические. Концентрация фенолов в нем — 7 ПДК, акватория сильно загрязнена радиоактивными веществами.

По остальным морям Северного Ледовитого океана крупные обобщающие работы в области химии и геохимии донных отложений немногочисленны. Недавние публикации показывают, что на акваториях Карского моря, моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского содержание детергентов и ксантогенатов меньше ПДК. Однако наблюдаются увеличенные концентрации углеводородов нефти в донных отложениях устьевых участков Оби и Лены (*Химические...*). В целом экологическое состояние морей Северного Ледовитого океана Н.Ф.Реймерс оценивает как равновесное и даже естественное.

В равновесном состоянии находятся акватории Тихого океана у Камчатки и Охотское море, хотя местами в них наблюдается до 4-8 ПДК по нефтепродуктам, довольно сильно ранее подорваны запасы рыбы и морского зверя. Ныне они медленно восстанавливаются.

Приблизительно такое же состояние у прилегающей к России части Японского моря, однако местами бентос в нем сильно деградирован. Общее состояние моря равновесное, но местами кризисное.

Следует отметить, что экологическая оценка северного и восточного побережья России произведена Н.Ф.Реймерсом без учета их радиоактивного загрязнения (разд. 8.2). Его учет значительно ухудшает оценку экологического состояния акваторий Тихого океана у Камчатки, Охотского и Японского морей, Северного Ледовитого океана в Баренцевом и Карском морях.

Состояние Черного моря — критическое. Приток пресных вод в него снизился примерно на 12%. В пригородных акваториях высоки концентрации фенолов (до 52 ПДК) и ПАВ (до 32 ПДК). Воды моря местами потеряли способность к самоочищению. В северо-восточной его части на глубинах 50-1500 м обнаружены радионуклиды цезия-137 и стронция-90 в концентрациях, превышающих ПДК в несколько десятков раз. Известно до 8 таких свалок химических веществ вдоль российского Черноморского побережья.

Продуктивность экосистем Азовского моря — критическая с возможным переходом к катастрофической. Самоочищающей способностью воды моря, по-видимому, уже не обладают. Уловы рыбы в сравнении с 1950 г. сократились в 15 раз. Весьма сильно загрязнены прибрежные районы, в частности Мариуполя, где концентрации нефтепродуктов достигают 150 ПДК. В Керченском заливе для фенолов они составляют 34 ПДК. В Темрюкском заливе в начале текущего столетия фиксируются концентрации ртути на уровне 7 ПДК. Крупным естественным источником его загрязнения служат грязевые вулканы, в выбросах которых обнаруживаются в основном тяжелые и ароматические фракции углеводородов. Увеличение активности вулканов и извержение одного из них в 1994 г. привело к образованию в заливе океанического острова (Осипов).

Каспийское море находится в глубоко кризисном экологическом состоянии, что обусловлено зарегулированностью и загрязнением Волги и других рек бассейна нефтепромыслами, промышленными объектами и сельскохозяйственными стоками. Ежегодно с водами Волги в него поступает $2,5 \text{ м}^3$ неочищенных и 7 км^3 условно очищенных сточных вод. Как следствие, участок моря в Северном Каспии в 1992 г. признан зоной экологической катастрофы. Воды на дагестанском участке моря в районе Махачкалы и Дербента из-за роста объема сточных вод и вымывания ядохимикатов с орошаемых земель в 2002 г. перешли в класс грязных (ИЗ — 1,87). Содержание фенолов здесь составляет 7 ПДК, углеводородов — 8 ПДК.

Каспий — носитель мирового генофонда осетровых и, до недавнего времени, 90% их мировых запасов. Однако уловы рыбы здесь с 1956 по 1988 г. упали с 380 тыс. т до 77 тыс. т, площадь нерестилищ осетровых уменьшилась с 3600 до 450 га. Кроме этого, море пережи-

ло две экологические катастрофы. В 2001 г. погибло более 10% тюленей, в жировых тканях которых были обнаружены высокие концентрации нефтеуглеводородов, пестицидов (ДДТ), нафталина и бензола. В 2000 г. погибло более 250 тыс. т кильки (40% запасов). Причина: химическое загрязнение моря, в частности нефтью, свинцом, цинком, кадмием, ртутью, ароматическими углеводородами (Современное...).

Общая тенденция развития экологической ситуации Каспийского моря — в сторону критической.

В целом, по Реймерсу, без учета радиоактивного загрязнения, океанические геосистемы пребывают еще в равновесном состоянии, но ряд систем суши по совокупности показателей находится в кризисном состоянии, переходящем в критическое.

В СНГ насчитывается 290 ареалов неблагоприятной экологической ситуации, охватывающих около 3,7 млн км², или 16% территории.

В Российской Федерации эксплуатируется также 45 тыс. опасных объектов различного вида собственности, под действие которых подпадает до 80 млн чел. в случае техногенных чрезвычайных ситуаций.

Неблагоприятная экологическая ситуация обусловлена значительным загрязнением всех сред обитания живого: воздушного и водного бассейнов, почвы.

На общем весьма отрицательном фоне применительно к населению наиболее вредно по последствиям загрязнение воздушного бассейна. В частности, анализ структуры первичной заболеваемости за 1999-2002 гг. показал, что первое место у всех групп населения в большинстве субъектов РФ занимают «Болезни органов дыхания». Воздействию повышенных концентраций загрязнителей атмосферы подвергается до 30 млн человек.

Наиболее многочисленная группа населения (15 млн) находится под влиянием повышенных (более 150 мкг/м³) концентраций взвешенных веществ. Второе место по масштабам популяционного воздействия занимает бенз(а)пирен (14 млн). Он создает высокую канцерогенную опасность в 24 городах с расположенными в них алюминиевыми или сталеплавильными производствами и в 30 городах с нефтеперерабатывающими заводами и крупными ТЭС. Третье место в приоритетном списке загрязнителей атмосферы занимает фенол (10,4 млн), четвертое — диоксиды азота (5,6 млн чел.).

Анализ динамики атмосферных выбросов ЗВ за 1996-2000 гг. показал, что она высока, хотя и прослеживается определенная тенденция к ее снижению: с 20,3 млн в 1996 г. до 18,8 млн т в 2000 г. При этом в 2000 г. они были выше, чем в 1999 г., поскольку народное хозяйство показало тенденцию к росту после дефолта 1998 г. Основная доля загрязнений приходится на промышленность (81%), в том

числе: энергетика — 20,5; цветная металлургия — 18,5; черная металлургия — 12,8; нефтедобывающая промышленность — 8,6%.

Выбросы в атмосферу наиболее массовых промышленных загрязнителей составили, млн т/год: SO_2 — 5,1; CO — 4,0; NO_x — 1,4; углеводороды — 2,1.

Все более значим в современной структуре загрязнения атмосферы транспорт: в 2000 г. 10,6 млн т CO ; 1,9 — NO_x ; 1,5 — углеводороды. Эти выбросы значительно превосходят промышленные по оксидам углерода и азота и близки по углеводородам. Из них на долю автотранспорта приходится, %: CO — 97,8; NO_x — 80,1; углеводороды — 95; SO_3 — 63. Общие выбросы по транспорту возросли с 11,5 млн в 1995 г. до 15,0 млн в 2000-м.

По этим же веществам продолжает увеличиваться загрязнение атмосферы жилищно-коммунальным хозяйством: с 300 тыс. т в 1994 г. до 690 в 2000-м (*Гордин*).

В свете изложенного можно заключить, что особенно обострились экологические условия проживания во всех крупных промышленных городах, в которых сосредоточены промышленность и автомобильный транспорт. Многократное превышение нормативов загрязнения воздушного загрязнения стало обычным явлением. В 84-х городах, насчитывающих 50 млн жителей, загрязнение воздуха превышает санитарно-гигиенические нормы в 10 раз и более. Только 15% городского населения России живет в нормальной экологической среде (*Бобылев...*).

Несколько крупнейших загрязненных территорий расположено на севере. Это Кольский полуостров, о. Новая Земля, Ямало-Ненецкий автономный округ, район Норильска-Дудинки. Вокруг Норильска леса деградировали на площади 545 тыс. га. В воздухе города в 1988 г. содержалось 5 ПДК хлора, 15 ПДК диоксида азота, 36 ПДК оксида азота, 20 ПДК SO_2 — все как следствие деятельности Норильского горно-металлургического комбината. По загрязненности сернистым ангидридом и оксидом углерода Норильск занимает одно из первых мест в стране.

На Урале, в Кузбассе, местами в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке экологические условия жизни в городах угрожают здоровью населения. Город Нижний Тагил первым в стране в 1995 г. был официально признан зоной чрезвычайной экологической ситуации.

Санитарное состояние водоемов как первой (для питьевого водоснабжения), так и второй (для рекреации) категории водопользования по-прежнему неудовлетворительно. В 2003 г. доля опасных проб в них составила соответственно 28,7 и 25,5% по санитарно-химическим показателям; 25,4 и 22,5% — по микробиологическим. Источники питьевого водоснабжения в большинстве своем испытывают значительное

антропогенное воздействие и оцениваются как «загрязненные» (р. Волга, Дон, Кубань, Обь, Лена, Печора и их притоки) и «очень загрязненные (р. Урал).

Аналогично положение с питьевой водой. Только 50% ее в городах соответствует санитарным нормам.

В числе основных причин загрязнения водоемов продолжает оставаться антропогенная нагрузка на водные объекты: сброс без очистки и недостаточно очищенных сточных вод, неудовлетворительная активность строительства и реконструкции канализационных сооружений и очистных сооружений. Более 80% загрязненных СВ сбрасывается в реки без очистки.

Приоритетными загрязнителями источников водоснабжения и питьевой воды являются токсичные элементы, состав которых во многом определяется региональными особенностями производства и попадания в водоисточники со СВ, а также нитраты и некоторые органические соединения. Так, в Кемеровской области в водопроводной воде зарегистрированы превышения ПДК алюминия, формальдегидов, нитратов, аммиака, в водоисточниках Татарстана — солей тяжелых металлов, ПАВ, нефтепродуктов, нитратов, фенолов, аммиака, в Новосибирской области — марганца, железа, нитратов, в Самарской области — свинца, кадмия и т.д.

Значительные эколого-финансовые проблемы в нашей стране возникают в связи с уничтожением химического оружия. В 1997 г. вступила в силу Конвенция о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и его уничтожении (КХО). Как известно, Россия накопила 40 тыс. т химического оружия (ХО), США — 30 тыс. т, другие страны его не имеют. В соответствии с Конвенцией, для уничтожения ХО в России должны быть построены 7 заводов (срок ликвидации всех запасов отравляющих веществ — 2008 г.). Однако уже к концу 1999 г. недостаточность финансирования для сооружения заводов привела к отставанию на два года от графика, предусмотренного КХО (Калядин). Вместе с тем ХО хранится на 7 специализированных объектах Министерства обороны РФ и 3 базах Военно-Воздушных Сил, расположенных в достаточно густонаселенных центральных или прилегающих к ним регионах (Саратовская, Пензенская, Брянская, Кировская, Курганская области, респ. Удмуртия). Опасно как продолжение хранения ХО, созданного многие десятилетия назад, так и его уничтожение по упрощенным технологиям, неизбежное в условиях резкого недофинансирования. Имеется, однако, надежда на реализацию КХО, так как финансовую помощь в ее выполнении России оказывают крайне заинтересованные в ликвидации потенциальной угрозы США и западноевропейские страны.

Тревожно положение с почвами. Уровень распашки во многих регионах намного выше оптимальных 40% и в ряде случаев достигает 70 и даже более 80% территории. Черноземы России потеряли не менее 25, а местами до 50% гумуса. Загрязнение воздуха и внесение сельскохозяйственных химикалий привели к отравлению почв тяжелыми металлами (иногда до сотен ПДК). Усиливается опустынивание (Забайкалье), а в Калмыкии уже возникла крупнейшая в Европе пустыня. Этот процесс связан прежде всего с перевыпасом. В частности, плотность популяций овец втрое превышает оптимальную.

Во многих регионах наблюдается ухудшение качества сельскохозяйственной продукции, увеличение содержания в ней различных вредных веществ, тяжелых металлов и пр.

Наряду с вещественным на состояние окружающей среды существенное влияние оказывают физические (энергетические) факторы воздействия неионизирующей и ионизирующей природы (табл. 1.1). Полагают, что в настоящее время их негативный вклад сопоставим с наносимым химическими загрязнителями.

Таблица 1.1

Характеристика физических факторов
воздействия на окружающую среду (2003 г.)

Виды воздействия	1	2	3
Микроклимат	36	11,2	-
Освещенность	35	16,3	-
Шум	14	19,0	49
Вибрация	5	12,8	4
ЭМП	8	15,4	47
Другие	2	25,3	-

Примечания: 1 — доля воздействия, %; 2 — число рабочих мест в промышленности, не отвечающее санитарно-эпидемиологическим требованиям; 3 — доля воздействия в населенных пунктах

Наиболее неблагоприятное воздействие физических факторов наблюдается, как и в предыдущие годы, в тяжелом машиностроении, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической и деревообрабатывающей промышленности, черной металлургии, промышленности строительных материалов, сельском хозяйстве, на транспорте.

Доминантным энергетическим загрязнителем является шум. В промышленности на его долю приходится наибольшее число рабочих мест, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям. Он же — лидер по количеству источников (49%) и по степени неблагоприятного воздействия на население.

Проблема шума остро стоит в крупных городах (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург). В последнее время акустическая обстановка ухудшается в менее крупных городах (Абакан, Таганрог, Новочеркасск, Новошахтинск, Биробиджан и др.).

Существенный источник шума в населенных пунктах — встроенные в жилые дома или пристроенные к ним, а также расположенные внутри жилой застройки предприятия: магазины, кафе, развлекательные центры и т.д. Количество обоснованных жалоб на шум от встроенных предприятий составляет не менее 50% от их общего объема.

Всего в России, по данным госсанэпидслужбы, сверхнормативному воздействию шума подвергаются около 8 млн чел.

Дополнительно к изложенному экологическое состояние России рассматривается и далее (разд. 3.1, 4.1, 5.3, 6.2, 8.2).

Экологические факторы существенно влияют на здоровье жителей. По данным ВОЗ, при соблюдении нынешних тенденций к 2005 г. их роль должна была возрасти до 40%, генетических факторов — до 30, образа жизни и медицины — до 25 и 5% соответственно (Горский).

К болезням, вызываемым загрязнением окружающей среды, относятся злокачественные новообразования, заболевания нервной системы, органов пищеварения, мочеполовые, кожи и подкожной клетчатки, врожденные пороки развития и многие другие. Однако первое место среди них, как уже отмечено, занимают болезни верхних дыхательных путей, обусловленные загрязнением атмосферы.

Из экологических факторов, существенно влияющих на здоровье людей, прежде всего следует выделить охрану труда работающих и условия проживания на селитебных территориях.

Улучшение условий труда, сокращение профессиональной патологии и производственного травматизма, укрепление здоровья работников находятся в прямой зависимости от состояния экономики в целом и реализации механизма законодательства в области гигиены и охраны труда. Вместе с тем невысокий уровень того и другого привел в настоящее время к неудовлетворительным условиям труда в нашей стране.

Суммарная численность работников в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормативам, в 2003 г. составила 22,7% от общей численности работающих в промышленности (каждый четвертый-пятый), 15,4 — на транспорте, 10,3 — в строительстве, 2,4 — в связи. Около половины работающих во вредных и опасных условиях — женщины.

В промышленности, строительстве, транспорте и связи было занято на работах: при повышенной запыленности и загазованности воздуха рабочей зоны — около 2,3 млн чел., с высокими уровнями шума, ультра- и инфразвука — более 2 млн, при сверхнормативных уровнях вибрации — свыше 500 тыс. человек.

Основной причиной несоблюдения санитарно-эпидемиологических нормативов в промышленности, как и прежде, является морально устаревшее и физически изношенное технологическое оборудование и нежелание предпринимателей, особенно в мелком бизнесе, обеспечивать безопасные условия труда. Износ основных производственных фондов в среднем по России превышает 65%, во многих отраслях народного хозяйства достигает 70-80 и даже 90% (кн. 4, разд. 2.5).

В целом каждое четвертое предприятие России относится к опасным для здоровья работающих и лишь каждое пятое соответствует санитарному законодательству.

Неблагоприятные условия труда — основная причина профессиональной заболеваемости работников.

В 2003 г. зарегистрировано 10280 случаев профессиональных заболеваний и отравлений, из них почти 2500 — у женщин. Показатель профессиональной заболеваемости составил 2,13 на 10 тыс. работников.

В структуре нозологических форм преобладают хронические болезни, связанные с воздействием физических факторов (36,9%), промышленных аэрозолей (28,9), с физическими перегрузками и перенапряжением отдельных органов и систем (16,9), а также интоксикации под влиянием химических (9,6) и биологических факторов (6,8). При этом удельный вес вибрационной болезни от общего числа профзаболеваний (отравлений) составил 25,3%, нейросенсорной тугоухости — 12,6%.

Наиболее высокие уровни профзаболеваемости (человек на 10 тыс. работающих) регистрируются на предприятиях угольной промышленности (39,7), цветной металлургии (15,4), станкоинструментальной и инструментальной промышленности (11,4), в строительно-дорожном (10,6), тяжелом и энергетическом машиностроении (по 10,1), авиатранспорте (9,7), черной металлургии (9,1).

Причины возникновения хронических заболеваний в 2003 г., %: несовершенство технологических процессов — 43,5; конструктивные недостатки средств труда — 28,5; несовершенство сантехустановок и рабочих мест — по 4,9.

Возникновение острых профзаболеваний (отравлений) в основном обусловлено нарушением правил техники безопасности (21,6%), авариями (19,7), несовершенством технологических процессов (10,6), профессиональным контактом с инфекционным агентом (9,1), неприменением средств индивидуальной защиты (7,7), отступлениями от технологического регламента (7,2),

Среди профессиональных отравлений преобладают вызванные марганцем (в сварочном аэрозоле), хлором, ртутью, свинцом и его неорганическими соединениями, фтористыми соединениями, оксидом углерода, сероводородом и аммиаком.

Заболеваемость работников с временной утратой трудоспособности оставалась высокой.

Отмечается рост первичного выхода на инвалидность среди трудоспособного населения. В последние годы каждый пятый среди впервые признанных инвалидами утратил трудоспособность в возрасте 45 (женщины) и 50 лет (мужчины).

Медико-демографические показатели здоровья всего населения России, как и профессиональная заболеваемость, также остаются неблагоприятными. Общая заболеваемость в РФ с 2001 по 2003 г. возросла со 133,8 до 141,1 млн чел. По классам болезней она составила, %: органы дыхания — 26,1; система кровообращения — 11,7; органы пищеварения, костно-мышечная и соединительная ткань, глаз и его придаточный аппарат, мочеполовая система, беременность с родами и послеродовой период — все по 5,6-7,9.

Структура смертности, %: система кровообращения — 56, несчастные случаи, отравления и травмы — 14, новообразования — 12, органы дыхания — 4, органы пищеварения — 3, прочие болезни — 10.

Причины смертности от отравлений требуют пояснений. Имеются в виду острые бытовые отравления лекарственными средствами, алкоголем и его суррогатами, наркологическими веществами. Их число возросло с 62 тыс. в 1998 г. до 95 тыс. в 2002-м. В настоящее время острые химические отравления находятся на первом месте по абсолютному числу смертельных исходов, в два и три раза превышающих соответствующие показатели для новообразований и инфаркта миокарда.

Структура причин острых отравлений на всех территориях России близка и составляет, %: медицинские препараты — 7-30, бытовые (оксид углерода, или угарный газ; уксусная кислота) — 6-16, алкоголь и суррогаты — 30-74, прочие — 12-24.

Существенный вклад в усиление неприглядной картины здоровья населения России вносят экологические условия его проживания на селитебных территориях.

Известно, например, что в городах, где уровень загрязнения атмосферы в десятки раз выше нормы, заболеваемость населения больше среднероссийских показателей в 1,5-2,0 раза. По данным анализа 1988 г. здоровья населения в 184 городах СССР с высоким уровнем загрязнения установлено, что постоянное превышение допустимой концентрации лишь по одному из загрязнителей увеличивает заболеваемость в 1,7 раза. При этом ее структура специфична для каждого города и связана с ведущей отраслью промышленности. Предприятия по производству удобрений и асбеста вызывают, в частности, заметный рост злокачественных новообразований, заболевания крови и сердечно-сосудистой системы. Деятельность объектов

цветной металлургии предопределяет повышение злокачественных заболеваний и болезней крови преимущественно у детей. В районах расположения предприятий по производству белково-витаминного концентрата из парафинов нефти, использовавшегося в качестве кормовой добавки в животноводстве, у детей развивались особые формы аллергии. Мясо животных, вскармливавшихся с этой добавкой, имеет более низкие консистентные свойства.

Таких данных по влиянию окружающей среды на здоровье населения множество. Особенно тревожны они применительно к Приуралью, индустриальному Уралу, Сибири. В Приуралье в результате повсеместного отравления воды пестицидами выявлено почти 100%-е распространение гепатита, смертность населения вдвое выше общероссийской.

Явно негативно ухудшение экологической ситуации сказывается на детях. Детская смертность достигает 70 на 1 тыс. рожденных детей при ее уровне 12,4 по России (2003 г.). Однако последняя в 1,5-2,0 раза больше, чем, например, в западноевропейских странах. Таким образом, по уровню детской смертности Россию можно сравнить со слабо развитыми странами.

Крайне неблагоприятно здоровье подрастающего поколения. По данным медицинских учреждений, только 12% выпускников школы могут считаться абсолютно здоровыми. Лишь 10% юношей годны без ограничений к службе в армии. Низкое качество окружающей среды, алкоголизм привели к резкому увеличению числа детей с различными генетическими отклонениями. Число таких детей достигает 17%. Между тем по данным ВОЗ при поражении генетического аппарата у 10% новорожденных неизбежно начинается вырождение нации (Горский). Очевидно, что если деградация генофонда пойдет такими же темпами и далее, то без преувеличения можно сказать, что нынешняя ситуация в России убивает будущие поколения (Бобылев...).

В целом считается, что из ядов, регулярно попадающих в организм человека, около 70% поступает с пищей, 20% — из воздуха и 10% — с водой.

Дополнительные сведения о здоровье и продолжительности жизни россиян приведены в кн. 4, разд. 2.11.4.

1.9. Концепция устойчивого развития

Понятие «устойчивое развитие» введено учеными и специалистами во главе с Г.-Х.Брундтланд (Brundtland), которые по поручению Генеральной ассамблеи ООН с 1983 г. работали в составе Международной комиссии по окружающей среде и развитию. В заключитель-

ном документе «Наше общее будущее» (1987 г.) комиссия сформулировала его как «длительное непрерывное развитие, обеспечивающее потребности ныне живущих людей без ущерба удовлетворению потребностей будущих поколений».

В настоящее время в литературе имеется более 60 других определений устойчивого развития, отражающих его отдельные важные экономические аспекты (*Бобылев...*).

Выводы комиссии Г.-Х.Брундтланд были положены в основу работы Конференции ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.), в которой участвовали главы государств и правительств 171 страны мира. Конференция приняла «Повестку дня на XXI век». В 1997 г. проведена вторая Конференция ООН по окружающей среде (Киото, Япония), в 2002 г. — третья (Йоханнесбург, ЮАР).

Ни комиссия Брундтланд, ни конференция по окружающей среде не дали указаний о конкретных путях достижения устойчивого развития. Путь к нему каждое общество должно определить самостоятельно, поскольку он может существенно отличаться в разных странах и регионах из-за несовпадения стартовых условий, экономических, социальных, географических и культурных факторов. Общими являются некоторые условия, соблюдение которых необходимо для реализации концепции устойчивого развития. Эти условия делятся на биосфероцентрические (экологические) и антропоцентрические (неогуманистические). Полагаем также, что важнейшим условием устойчивого развития является предвидение и ликвидация возможных антиантропных сценариев, реализация которых может привести к устранению человечества в его современном социо-биологическом виде.

Биосфероцентрические условия предполагают прежде всего:

сохранение биоразнообразия видов. Максимальное биологическое разнообразие служит основной гарантией поддержания стабильных условий существования жизни на Земле. Именно оно является мерой устойчивости окружающей среды;

при сохранении биоразнообразия и устойчивости биосферы недопустимость превышения пределов жизнеспособности экосистем планеты. В связи с этим объемы выбросов и сбросов загрязняющих веществ и энергии в окружающую среду не должны превышать ее способности к их безболезненной ассимиляции.

Антропоцентрические условия включают:

гарантированное обеспечение населения продуктами питания. Лишь во второй половине прошлого столетия мировое производство зерновых, главного индикатора продовольственного положения, стало опережать по темпам рост населения. Сохраняются глубокие диспропорции между уровнем производства и потребления продуктов питания в

развитых и развивающихся странах. Так, на самом бедном континенте (Африка) начиная с 70-х годов душевое производство продовольствия ежегодно сокращается на ~1%, и голод остается здесь серьезной проблемой, несмотря на усилия международного продовольственного фонда помощи нуждающимся странам;

гарантированное обеспечение энергоресурсами. Они являются тем всеобщим эквивалентом, которым измеряются все ресурсные затраты людей. При наличии дешевых, экологически чистых и практически неограниченных источников энергии человечество справится с любыми экологическими проблемами, получит в свое распоряжение неисчерпаемые источники природных ресурсов. В качестве последних, образно говоря, сможет выступить любой участок поверхности Земли и ее недр, поскольку априори он содержит все элементы периодической системы Д.И. Менделеева;

использование природных ресурсов в количествах, не превышающих масштабы их возобновления или замены аналогами;

стабилизацию численности населения на уровне, обеспечивающем улучшение качества жизни людей. Основными показателями последнего, в соответствии с концепцией перехода Российской Федерации к устойчивому развитию (указ №440 от 1.04.1996 г. президента России), являются продолжительность жизни человека и состояние его здоровья, уровень знаний и образовательных навыков, валовой внутренний продукт на душу населения, уровень занятости, полнота реализации прав человека, степень отклонения состояния ОС от нормативов.

Устранение *антиантропных сценариев* позволит избежать угроз наиболее существенным интересам человечества.

Известно, что человек обладает рядом признаков, объединяющих его с живым веществом вообще, с флорой и фауной — в частности (разд. 1.2). Вместе с тем он имеет ряд качеств, присущих лишь ему и резко выделяющих его из всего живого. Только человек способен к мышлению с такими его фундаментальными свойствами, как опосредованность, обобщенность и абстрактность. Только у человека развиты такие признаки, как *мораль* (совокупность всеобщих норм и принципов поведения, обязательная для всех) и *нравственность* — мораль индивида, те нормы и правила поведения, которых он готов придерживаться в обществе. Наряду с таким признаком живого, как воспроизводство себе подобных (инстинкт продолжения рода), мышление, мораль и нравственность, вырабатываемые в течение многих поколений, направлены на сохранение человечества, обеспечивают его безопасное развитие. Именно по этой причине мораль и нравственность не могут быть продолжительное время бандитскими или криминализованными, так как неизбежно приведут к снижению уровня безопасности общества, к угро-

зе ликвидации человеческого сообщества, что противоречит сильнейшему из инстинктов — продолжения рода.

Сущностные интересы человека требуют создания необходимых условий для формирования и сохранения морали, нравственности, развития интеллекта. Решающее влияние на эти процессы оказывают наука, искусство и культура.

Что угрожает сущностным интересам человечества, помимо нарушения биосфероцентрических и антропоцентрических условий развития? Ответ и прост и сложен. Прежде всего им угрожает сам человек. Речь идет о процессах социального характера, когда человечество разбивается по тем или иным признакам на ряд групп, частные интересы которых вступают в непримиримый конфликт с интересами людей как биологического вида, ставя последний под угрозу уничтожения. Наиболее опасны в этом плане силовые конфликты (войны, революции, геноцид).

На нынешнем этапе развития оружия массового поражения (ядерного, химического, биологического) его масштабное применение в войнах приведет к уничтожению человечества как биологического вида в кратчайшие исторические сроки, без селекции по территориальному, национальному, классовому и другим признакам. Ужасающие последствия поражения ядерным оружием рассмотрены в разделе 8.2. Бесprecedентны по своей поражающей силе рецептуры биологического и химического оружия. Так, например, 1 мг пневмококков содержит 160 млн смертельных для человека доз, 1 г политоксина способен убить 100 тыс. человек.

При революциях столкновение и уничтожение людей протекают по классовому признаку, что не делает их менее кровавыми, чем войны между государствами. Великая французская революция 1789-1794 г. сопровождалась казнями 2 млн людей при общем населении Франции ~40 млн человек. Основную долю гильотинированных, естественно, составили не аристократы (их в таком количестве просто не было), а простолюдины — крестьяне и ремесленники. Не щадили и женщин. Октябрьский переворот 1917 г. и последующая гражданская война в России ознаменованы гибелью 5 млн соотечественников 160-миллионной страны. Гражданская война в России обогатила человечество такими достижениями антигуманизма, как концентрационные лагеря, расстрел заложников, массовые утопления женщин и детей во имя революционной целесообразности, применение химического оружия регулярными войсками против мирного населения.

Геноцид, или истребление отдельных групп населения по расовому, национальному и религиозному признакам, — одно из тяжчайших преступлений против человечества. Его вершили Россия (еврейские погромы), фашистская Германия (Холокост), Турция (армянская рез-

ня 1915 г.). В Кампучии коммунистический режим Пол Пота в период 1974-1978 гг. уничтожил 2 млн сограждан, что составило четверть населения страны.

Распространена точка зрения, что стремление к насилию над себе подобными лежит в природе людей. Ссылаются при этом на тот факт, что история человечества насчитывает лишь несколько десятилетий без войн. Однако насилие ставит под угрозу само существование человеческого рода и поэтому противно его биологической природе. Исследования социологов показали, что только 15% людей способны убить другого человека, в том числе и в экстремальных обстоятельствах, когда смерть угрожает им самим. Некоторые солдаты фашистского вермахта даже в победоносном 1941 г., когда еще и мысли не возникало о неминуемом возмездии, отказывались участвовать в казнях мирного советского населения и сами немедленно попадали в шеренги расстреливаемых (Быков В. Каратели). На полях сражений Первой и Второй мировых войн грудями валялись неиспользованное стрелковое оружие и полные обоймы патронов, брошенных их владельцами. Подсчитано, что на одного убитого в среднем приходилось свыше 15 тыс. выстрелов — настолько неприцельно велся огонь по противнику. Люди, в единоборстве убившие врага, обычно до самой смерти не могут забыть его взгляд и мучаются раскаянием, хотя в свое время стояли перед выбором: убьешь ты или убьют тебя.

Существенную опасность для судеб человечества представляет безнравственность устремлений части людей, грозящая ему вырождением. Не признающий норм морали человек ставит под угрозу не только свое здоровье и жизнь, но и окружающих. Примером тому является распространение чумы 20 века: СПИДа, наркомании и алкоголизма.

Опасно применительно к человеку развитие некоторых научных направлений, таких как клонирование, нетрадиционные зачатие и развитие человеческого зародыша, нанотехнологии, кибернетика, в частности бионика.

Клонирование, нетрадиционные зачатие и развитие человеческого зародыша, нанотехнологии создают реальные возможности для воспроизведения человека без соительного участия биологических родителей. Реализация такой идеи, технически возможной уже в обозримом будущем, создает реальную угрозу веками и тысячелетиями складывавшимся моральным и нравственным нормам человечества, включающим такие понятия, как родственные узы, материнство и отцовство, родители и дети, возрастная иерархия поколений, в которой родители всегда старше детей, а бабушки и дедушки старше родителей. Исчезнут основополагающие понятия о малой и большой Родине, о народе, к которому принадлежишь, и т.д. Разрушение прежних морально-

нравственных норм пройдет так апокалипсически быстро, что исключит постепенное, эволюционное, изменение этих норм, когда человечество неторопливо оценивает возникшие особенности поведения, отказываясь от тех из них, которые угрожают его устойчивому развитию. Таким образом, человечество вступит в эпоху непредсказуемого, революционного, развития биосоциальной сферы.

Кибернетика (бионика) до недавнего времени рассматривалась как научно-техническое направление, изучающее структуру и жизнедеятельность организмов с целью использования открытых закономерностей и обнаруженных свойств для решения инженерных задач и построения технических систем, приближенных по своим характеристикам к живым организмам.

Еще недавно робототехника была способна создавать лишь машины (устройства) с так называемым антропоморфным (человекоподобным) действием, частично или полностью заменяющие людей при выполнении простейших работ, операций (счет, перемещение тяжестей, реагирование на внешние моносигналы и т.д.). Однако на сцену уже выходит и привлекает все большее внимание своими темпами развития искусственный интеллект — кибернетические системы, моделирующие некоторые стороны мыслительных способностей человека. В полной мере прогресс, достигнутый в области ИИ, иллюстрируют шахматные программы.

Как полагают, высокий уровень игры в шахматы соответствует одному из наиболее сложных видов мыслительной деятельности человека. Еще несколько десятилетий назад шахматные программы ограничивались, по существу, перебором всех возможных ходов на один темп вперед. Однако в настоящее время интеллектуальную честь человечества за шахматной доской успешно защищал только гениальный Г.К.Каспаров, но и он со счетом 2,5:3,5 проиграл матч в классические шахматы искусственному интеллекту. Г.К.Каспаров считает, что через несколько лет ни он и никто другой из людей не смогут противостоять ИИ.

И немудрено. Машина не устает, не делает зевков, но главное, ее программы уже включают элементы эвристического мышления, т.е. совокупности логических приемов, методических правил теоретического исследования и отыскания истины. Принципиально то, что создаваемые ИИ выходят уже за рамки тех умений, которые первоначально вкладывает в них человек. В определенной степени они способны анализировать свои действия и вносить дополнения в собственные базы данных, улучшающие и усложняющие их, т.е. могут развиваться. Они принципиально готовы заменять вышедшие из строя свои части, т.е. по существу воспроизводить себе подобных, что всегда являлось отличительным признаком живого. По сути, прослеживается возможность создания на неорганической или смешанной (органической плюс неор-

ганической) основах машин (устройств), по аналитическим возможностям превосходящих человека.

Пока неясно, приобретут ли машины в процессе развития эмоции, создадут ли моральные и нравственные принципы собственного поведения. Однако на определенной стадии развития они могут задаться вопросом, нужен ли им человек, существо, многократно уступающее им по физическим и аналитическим возможностям, но контролирующее их, считающее себя созданием высшего порядка, венцом Божьего творения? Не исключен ответ: «Нам не нужен». Ответив таким образом, искусственный интеллект может уничтожить человечество. Или, в целях сохранения биоразнообразия, оставит его как биологический вид, культивируя его на определенных территориях, которые сейчас мы называем национальными парками или зоопарками.

Описанный выше сценарий ненов и пока считается ирреальным. Ссылаются при этом на законы робототехники выдающегося фантаста А.Азимова: 1) робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы он был ему нанесен; 2) робот обязан подчиняться приказам человека, за исключением тех, которые противоречат первому закону; 3) робот должен заботиться о собственной безопасности, кроме случаев, когда они противоречат первому или второму закону. Полагают, что по мере развития искусственного интеллекта на его деятельность человек будет упреждающе накладывать те или иные ограничения типа законов робототехники.

Однако кто поручится, что в процессе неопределенно долгого использования и развития ИИ сценарии его освобождения от человека не будут реализованы? Например, произойдет случайный сбой, и машина избавится от запретов. Или маньяки, одержимые стремлением к вечной славе Герострата, освободят от них искусственный интеллект.

Вероятность уничтожения человечества искусственным интеллектом или внеземными цивилизациями тем более реальна, что тесно связана с одним из основных вопросов философии — о месте человека в окружающем его Мире. Что есть человек — цель или средство развития Вселенной, промежуточный этап ее истории, рано или поздно, но приговоренный к естественному исчезновению как любой биологический вид? Если цель — то гибель человечеству не грозит, но развитие (эволюция) Вселенной заканчивается. Сценарий маловероятен, так как и при наличии человека эволюция Земли и других миров продолжается. Если человек — средство в развитии Вселенной или какой-либо ее части, то, использовав его на данном этапе своей истории, Вселенная (мыслящее ее начало, Бог?) далее откажется от него, и мы сейчас наблюдаем первые признаки приближения человечества к своему концу в виде реализации тех или иных сценариев глобальных экологических катастроф.

Человечество не в силах изменить законы природы, но, познавая, должно использовать их в своих интересах. Осознав опасности, которые не только чисто теоретически несут некоторые направления научно-технического прогресса, оно может заблокировать их развитие. Речь не о запрете тех или иных научных направлений, как это в свое время имело место в нашей стране применительно к кибернетике и генетике. Ученый, изобретатель перестают творчески мыслить лишь со смертью. Однако, понимая, чем то или иное направление развития потенциально угрожает человечеству, высоконравственный ученый прибегнет к добровольному мораторию на исследования в опасной для людей области знаний. Реальные примеры такого поведения есть, например в проблеме зачатия и развития человека вне женского организма (в «пробирке»). В данном направлении имелись многообещающие результаты. Человеческий зародыш в искусственных условиях был доведен до 4-месячного возраста, и не оставалось каких-либо существенных медико-технических препятствий для завершения эксперимента рождением человека. Однако, будучи глубоко верующим католиком, автор программы добровольно прекратил опыт. Вслед за ним к мораторию на исследования в данной области присоединились все специалисты, и он соблюдается уже более 25 лет. После появления клонированной овцы Долли, высокоорганизованного животного, следующим логическим шагом представлялось клонирование человека. Однако ряд наиболее развитых государств объявил мораторий на исследования в данном направлении. К нему присоединились виднейшие ученые, специалисты по клонированию.

Резюмируя сказанное, можно выделить некоторые дополнительные антропоцентрические условия концепции устойчивого развития, вытекающие из необходимости устранения возможных антиантропных сценариев. К обязательным следует отнести развитие науки, культуры, соблюдение традиционных норм морали и нравственности при их эволюционном изменении; воспитание разумных потребностей, достаточных для реализации предыдущих условий; неприятие расовой, национальной, классовой, религиозной исключительности во всех ее проявлениях; добровольное ограничение научно-технических исследований в направлениях, потенциально опасных для судеб человечества.

В целом можно полагать, что устойчивое развитие — это неопределенно долгая эволюция материального, интеллектуального, морально-нравственного потенциалов нынешних и будущих поколений в условиях сохранения качественных и количественных характеристик окружающей среды и природных ресурсов.

Движение человечества к устойчивому развитию в конечном итоге приведет к формированию предсказанной В.И.Вернадским сферы ра-

зума (ноосферы), когда мерилom национального и индивидуального богатства станут духовные ценности и знания Человека, живущего в гармонии с окружающей средой (Концепция...). Это будет бесклассовое сообщество, в котором осуществится коммунистический принцип «от каждого — по способностям, каждому — по потребностям». Реализовать его позволят наращенные к тому времени гигантские производительные силы общества. Однако этот эволюционный естественный процесс развития производительных сил и личности человека невозможно совершить скачкообразно, революционным путем. Осознание эволюционного пути устойчивого развития общества делает исторически бессмысленным присутствие на современной политической арене партий коммунистической ориентации. В еще меньшей степени они потребуются объединенному человечеству в эпоху Ноосферы.

Стандарты качества и основные загрязнители окружающей среды

2.1. Общие положения

Осознание обществом необходимости предотвращать разрушение окружающей среды привело к возникновению нового вида его деятельности — в форме охраны природы. В части природопользования она охватывает все отрасли материального производства, потребление разнообразной продукции и эксплуатацию технических систем, быт и отдых населения.

Одно из направлений охраны природы — разработка нормативных и законодательных актов в этой области. К их числу относятся стандарты качества природной среды, которые устанавливают ее оптимальные характеристики, достигаемые при существующем уровне технического прогресса и обеспечивающие сохранение здоровья населения, развитие животного и растительного мира. Стандарты являются обязательными для использования на всей территории страны. Это обеспечивает применение единых и обязательных методов и правил охраны природы, а также единой терминологии.

Широкомасштабная деятельность по разработке стандартов в области охраны окружающей среды получила развитие с середины 60-х годов прошлого века. В 80-е годы природоохранные органы уже более 100 государств в той или иной степени использовали в практической работе различные системы экологических стандартов.

Стандарты подразделяют на *экологические* и *эмиссионные*. Экологические устанавливают предельно допустимые нормативы (нормы) антропогенного воздействия на природную среду, превышение которых угрожает здоровью человека, пагубно для растительного и животного мира. Такие нормы оформляют в виде ПДК загрязняющих веществ и ПДУ. Последние разработаны, например, для шумовых и электромагнитных загрязнений. Эмиссионные стандарты (нормативы) качества природной среды регламентируют экологически безопасные количества загрязнителей, выделяющихся при работе производственных, коммунально-бытовых и аналогичных объектов. К ним относятся ПДВ в атмосферу и ПДС в водный бассейн. В эту же группу входят *нормативы размещения* различных *отходов*, включая токсичные и радиоактивные, нормативы (лимиты) водопользования (водоотведения) и некоторые другие.

При нормировании ПДК используют принцип лимитирующих показателей, в соответствии с которым нормирование производят по наиболее чувствительному для обслуживающего персонала или окружающей среды индексу. Так, если запах вещества ощущается при концентрациях, не оказывающих влияния на здоровье человека и окружающую среду, то нормирование производят с учетом порога обонятельного ощущения. Если вещество оказывает на окружающую среду вредное воздействие в меньших концентрациях, чем на организм человека, то при нормировании исходят из порогового действия этого вещества на окружающую среду.

С целью соблюдения стандартов качества окружающей среды при размещении, проектировании и вводе в эксплуатацию новых и реконструкции имеющихся предприятий, сооружений и других объектов, при внедрении новых технологических процессов и оборудования должны предусматриваться улавливание, утилизация, обезвреживание вредных веществ и отходов или полное исключение их выбросов и сбросов. При этом исходят из того, что их совокупность в пределах ПДВ, ПДС и вредных физических воздействий обеспечивает соблюдение нормативов предельно допустимых концентраций и предельно допустимых уровней. Таким образом, эмиссионные нормативы непосредственно связаны с экологическими, т.е. с ПДК.

Если в воздухе городов и других населенных пунктов концентрация вредных веществ уже превышает ПДК, а значения ПДВ по объективным причинам предприятиями не могут быть достигнуты, то для таких предприятий разрешено устанавливать ВСВ вредных веществ. При этом оговаривается необходимость поэтапного снижения показателей выбросов вредных веществ до значений, которые обеспечивают соблюдение ПДВ.

При невозможности уменьшения загрязнений до установленных нормативов соответствующие предприятия, сооружения и иные объекты могут быть закрыты или их профиль подлежит изменению. Такие меры за последние годы приняты к предприятиям, расположенным в районе музея-усадьбы «Ясная Поляна» (аглофабрика Косогорского металлургического комбината), Кондопогскому и Байкальскому целлюлозно-бумажным комбинатам, Кемеровскому коксохимическому заводу и другим объектам.

Запрещено: размещение в населенных пунктах терриконов, отвалов, промышленных отходов, промышленного и бытового мусора, сжигание отходов, загрязняющих воздух, на территории предприятий, учреждений, организаций и населенных пунктов при несоблюдении требований по охране окружающей среды.

Природоохранные мероприятия, проводимые пользователями природных ресурсов, в принципе должны полностью компенсировать отрицательное действие производства на окружающую среду и осуществляться за счет их собственных средств и кредитов. Лишь в отдельных случаях допускается финансирование текущих мероприятий за счет централизованных источников.

2.2. Нормируемые показатели

2.2.1. Сущность и эволюция

Законодательством об охране окружающей среды, как уже отмечено, предусматривается ряд нормируемых показателей ее качества. Основными среди них являются предельно допустимые концентрации вредных (загрязняющих) веществ.

Предельно допустимая концентрация вещества — это такая его концентрация, при воздействии которой на организм человека и окружающую среду периодически или в течение всей жизни, прямо или опосредствованно через экологические системы или через возможный экономический ущерб, не возникает ни прямого, ни косвенного вредного воздействия, обнаруживаемого современными методами исследования сразу или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Под прямым воздействием подразумеваются нанесение организму временного раздражения, вызывающего кашель, головные боли, ощущение запаха и т.п., которое наступает при превышении пороговой величины концентрации вещества. К прямому воздействию относится также влияние тех вредных веществ, которые, накапливаясь в организме, при превышении определенной дозы могут вызывать патологические изменения.

Под косвенным воздействием подразумеваются такие изменения в окружающей среде, которые, не оказывая вредного влияния на организм человека, ухудшают обычные условия обитания, например увеличивают число туманных дней, поражают зеленые насаждения и т.п.

В настоящее время установлены ПДК для более чем 2500 индивидуальных веществ, находящихся в различном агрегатном состоянии (твердом, жидком или газообразном).

Величины ПДК определяются главным образом на основании изучения влияния веществ на человеческий организм без постановки специальных испытаний. Последние допускаются лишь в отдельных случаях, например для обнаружения порогов восприятия запахов. Значи-

тельная часть ПДК выявляется в опытах на животных (белых крысах, морских свинках и др.). В специальных камерах их подвергают круглосуточному воздействию вредного вещества в воздухе в течение 3-4 мес. с параллельным исследованием его влияния на различные органы животных. При этом используют комплекс методов (биологических, биохимических, физиологических, генетических). С определенной степенью корректности полученные данные интерпретируют применительно к человеческому организму.

Поскольку люди по-разному реагируют на загрязнения, то пороговая концентрация вредных веществ определяется по реакциям наиболее восприимчивых индивидов. Величины ПДК устанавливают обычно с двухкратным запасом по отношению к пороговым величинам. В отдельных случаях для особо опасных веществ ПДК берут с еще большим превышением. Так, для бенз(а)пирена, дающего канцерогенный эффект, был принят десятикратный запас ПДК.

Ряд вредных веществ при выбрасывании в окружающую среду превращается в другие соединения, часто более токсичные. В связи с этим необходимо использовать реально установившиеся концентрации первоначально выбрасываемых веществ и продуктов их взаимодействия.

Нужно также учитывать, что при одновременном присутствии нескольких вредных соединений, что обычно имеет место, может наблюдаться эффект их однонаправленного (суммированного) действия. В этих случаях суммарная концентрация C загрязняющих веществ не должна превышать единицы:

$$C = \frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1. \quad (2.1)$$

В формуле (2.1) C с индексами — концентрация вредных веществ в окружающей среде, ПДК с индексами — соответствующие предельные концентрации этих же соединений.

В настоящее время в нормативных документах отражено около 60 групп веществ, обладающих эффектом суммации. Назовем некоторые из них: ацетон и фенол; аэрозоли пентавалентного оксида ванадия и оксида хрома трехвалентного; сернистый ангидрид с аэрозолем серной кислоты или с металлическим никелем, сероводородом, озоном, диоксидом азота, фенолом, фтористым водородом; аммиак и оксид азота; оксид углерода и пыль цементного производства (см. также разд. 2.6.2.1).

В последние годы наметилась тенденция определения эффектов суммации с использованием методов регрессионного анализа (парные и множественные корреляции).

Анализ изменения за длительное время устанавливаемых величин ПДК показывает, что они постоянно ужесточаются в результате вве-

дения все более низких их значений для отдельных веществ и расширения групп суммации. Последнее означает уменьшение допустимых концентраций веществ, входящих в эти группы. Такое ужесточение норм в ближайшие 20 лет после 1990 г., по прогнозным оценкам, в среднем может достичь 10-12 раз.

Следует отметить, что в значительной мере приоритет научного обоснования ПДК принадлежит советским гигиенистам, в частности В.А.Рязанову, Н.М.Томсону, А.М.Шабаду и Л.Н.Калюжному.

При оценке степени загрязнения используют несколько нормативных показателей, в определенной степени различных для атмосферы, водной среды, почв и пищевых продуктов.

2.2.2. Атмосфера

Предельно допустимые концентрации веществ, загрязняющих атмосферу, в России впервые были введены в 1951 г. Они нормировали содержание в воздухе 10 вредных веществ (пыль, сернистый ангидрид, оксид углерода и т.д.). К 1991 г. их было уже 497, в настоящее время – 589.

Применительно к атмосфере различают ПДК: максимальные разовые вредных веществ в воздухе населенных мест (ПДК_{м.р.}), среднесуточные вредных веществ в воздухе населенных мест (ПДК_{с.с.}), вредных веществ в воздухе рабочей зоны (ПДК_{р.з.}). Все они измеряются массой загрязняющего вещества в единице объема воздуха (мг/м³) при нормальных условиях (давление 1 атм, температура 0°С).

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе жилых территорий регламентируют гигиенические нормы 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест», устанавливающие максимальные разовые и среднесуточные концентрации примесей.

ПДК_{м.р.} – это концентрация, не вызывающая рефлекторных реакций в организме человека (ощущение запаха, световая чувствительность, изменение биоэлектрической активности головного мозга и т.п.). ПДК_{м.р.} – основная характеристика опасности тех вредных веществ, которые оказывают немедленное раздражающее действие, ограниченное временем (не более 20 мин). Продолжительность отбора пробы для определения максимальных разовых концентраций также составляет 20 мин.

ПДК_{с.с.} – это концентрация вещества в воздухе населенного пункта, не оказывающая на человека прямого или косвенного негативного влияния при неопределенно долгом круглосуточном вдыхании. Она применяется для предупреждения общетоксического, канцерогенного,

мутагенного и другого вредного воздействия вещества при его накоплении в организме человека. При этом имеются в виду среднесуточные концентрации в среднем за год, а не за каждые отдельные сутки. Суточные концентрации веществ определяются из данных непрерывного, в течение 24 ч, отбора пробы.

Для веществ, которые и обладают немедленным раздражающим действием, и могут накапливаться в организме, устанавливается как ПДК_{м.р.}, так и ПДК_{с.с.}.

Для ряда территорий вводят более строгие, чем для населенных мест, нормативы ПДК. Так, в зонах санитарной охраны курортов, местах размещения крупных санаториев и домов отдыха, зонах отдыха городов они на 20% меньше, чем в жилых районах.

ПДК_{р.з.} — это концентрация вещества в воздухе, не вызывающая у трудящихся, находящихся на рабочем месте по 8 ч пять раз в неделю, заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования, как в течение всей трудовой деятельности, так и в отдаленной перспективе.

Россия была одной из первых стран, где в середине 20-х годов нынешнего столетия стали определять ПДК_{р.з.}. В 30-е годы аналогичные ПДК введены в Германии и США.

Рабочей зоной в соответствии с санитарными нормами (СН) 245-71 считается пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находится место постоянного или временного пребывания рабочего.

ПДК_{р.з.}, как правило, значительно больше, чем для населенных мест. Это объясняется тем, что на предприятии люди присутствуют лишь часть суток, там не могут находиться дети и пожилые люди с ослабленным здоровьем. Кроме того, сами критерии чистоты воздуха для рабочей зоны менее жестки, чем для воздуха жилых районов. В последних не допускается, например, ощущения посторонних запахов во избежание дискомфорта. В рабочей же зоне требуется лишь не нанести ущерб здоровью человека за время пребывания на работе. Так, ПДК_{м.р.} для сероводорода составляет 0,008 мг/м³, а ПДК_{р.з.} для него равна 10 мг/м³.

Для некоторых рабочих помещений ПДК_{р.з.} устанавливают, исходя не из гигиенических, а из технологических соображений. Эта величина может быть на порядок более жесткой (помещения электронно-вычислительных машин, сборки полупроводниковых приборов и т.п.).

В последние годы все чаще предъявляют особые требования к защите атмосферы в зоне лесных насаждений (ПДК_л). Величины ПДК_л пока не утверждены законодательно и учитываются лишь для особо охраняемых территорий, таких как район музея-усадьбы «Ясная

Поляна». Временные нормативы ПДК_л, разработанные Минлесхозом СССР совместно с Госкомгидрометом, даны в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Предельно допустимые концентрации веществ для лесных массивов, мг/м³ (Шаприцкий)

Вещество	ПДК _{м.р}	ПДК _{с.с}
Азота оксид (в пересчете на NO ₂)	0,040	0,020
Аммиак	0,100	0,040
Бензол	0,100	0,050
Метанол	0,200	0,100
Пары серной кислоты	0,100	0,030
Сернистый газ	0,300	0,020
Сероводород	0,080	0,080
Твердые частицы (пыль)	0,200	0,050
Фтористые соединения (в пересчете на фтор)	0,020	0,003
Формальдегид	0,020	0,003

В ряде случаев ПДК_л ниже ПДК_{с.с} в 2-5 раз, а по ПДК_{м.р} для оксида азота и бензола — в 15 раз.

В зависимости от токсичности, загрязнители атмосферы подразделяются на четыре класса опасности (разд. 2.4).

Концентрация вредных веществ в атмосфере — функция их количества, выбрасываемого всеми источниками загрязнения. Чтобы эти концентрации не превышали ПДК, для каждого источника загрязнения устанавливают *предельно допустимый выброс*, как понятие сформулированный в 1978 г.

ПДВ — это максимально возможная для данного источника за единицу времени масса выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Величина ПДВ зависит от местоположения источника по отношению к жилым районам, сочетания выбросов рассматриваемого и других источников, условий рассеивания загрязнителей, температуры воздуха, рельефа местности и других факторов. Поэтому для одинаковых источников загрязнений величины ПДВ могут быть разными. Их устанавливают отдельно для каждого из загрязняющих веществ.

Для неорганизованных выбросов и совокупности мелких одиночных источников (вентиляционные выбросы, выбросы стационарных энергоустановок и т.п.) определяют суммарные ПДВ.

Единицей измерения ПДВ является масса загрязнителей в граммах, выбрасываемая за секунду. Контрольные значения предельно допустимых выбросов не должны превышать в любой двадцатиминутный

интервал времени. В целях удобства расчетов при проектировании, по каждому веществу для индивидуального источника и в целом для предприятия определяют также выброс в тоннах за год.

Сущность расчета ПДВ состоит в том, чтобы выбросы от данного источника в совокупности с выбросами других источников и с фоновой концентрацией C_{ϕ} не создавали приземную концентрацию C вредного вещества, превышающую ПДК:

$$C + C_{\phi} \leq \text{ПДК}. \quad (2.2)$$

Порядок и правила установления ПДВ определяет ГОСТ 17.2.3.02-78. В частности, для высокого одиночного источника загрязнения, выбрасывающего нагретые газы:

$$\text{ПДВ}_{(e/c)} = K_p (\text{ПДК} - C_{\phi}) = \frac{(\text{ПДК}_{\text{М.Р.}} - C_{\phi}) H^2 \sqrt[3]{V \Delta T}}{A F m n \xi}, \quad (2.3)$$

где K_p — коэффициент разбавления загрязняющего вещества, $\text{м}^3/\text{с}$;

H — высота источника выброса над земной поверхностью, м;

V — объем выбрасываемого газа, $\text{м}^3/\text{с}$;

ΔT — разность температур выбрасываемой смеси и воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

A — коэффициент температурной стратификации (неоднородности) атмосферы, $\text{с}^{2/3} \cdot \text{мг} \cdot ^{\circ}\text{C}^{1/3}/\text{г}$, для различных территорий равный 120-160;

F — коэффициент, учитывающий скорость оседания частиц (для газов — 1, для пыли при различных степенях очистки — от 2 до 3);

m, n — безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выбросов, при оценочных расчетах их произведение можно принимать равным единице;

ξ — коэффициент, характеризующий местность (для равнины — 1, для пересеченной — 2).

Под коэффициентом разбавления понимают объем чистого воздуха, необходимого для снижения концентрации выбрасываемого в 1 с загрязненного вещества до уровня ПДК.

Для холодной газовойоздушной смеси из одиночного источника:

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК}_{\text{М.Р.}} - C_{\phi}) H^{4/3} 8V}{A F m n \xi D}, \quad (2.4)$$

где D — диаметр устья трубы, м.

Расчет ПДВ в тоннах за год производится на основе методов, утвержденных Госкомгидрометом 10.03.1981 г. с изменениями от 12.09.1982 г.

Работы по установлению ПДВ для всех предприятий и объектов населенного пункта выполняются под руководством назначенной для него головной организации. Предельно допустимые выбросы согласу-

ются с организацией, осуществляющей контроль за состоянием атмосферы воздуха от загрязнений. Нормы ПДВ для предприятий пересматриваются не реже одного раза в 5 лет.

Если по предприятию или группе предприятий, расположенных в одном районе, значения ПДВ по объективным причинам не могут быть получены сразу, то, по согласованию с органами природоохраны, допускается их поэтапное достижение, с установлением на этот период временно согласованных выбросов (введены как понятие в 1980 г.).

Значения ВСВ устанавливаются с учетом передового экологического опыта в технологии данного производства и, наряду с ПДК, пересматриваются не реже одного раза в 5 лет.

В ряде случаев, особенно при проектировании новых производств, нормативная база отсутствует. В такой ситуации могут быть использованы расчетные методы определения временных нормативных показателей.

Расчетные методы определения ВДК химических соединений в воздухе рабочей зоны и в атмосферном воздухе весьма многочисленны и подробно изложены в справочнике Г.П.Беспамятного и Ю.А.Кротова.

Применение расчетных методов продиктовано стремлением устранить разрыв между ростом числа новых химических соединений, поступающих в окружающую среду, и реальными возможностями быстрого установления для них экспериментально обоснованных ПДК. Практика показывает, что на разработку и утверждение норматива ПДК требуется несколько лет и затрат несколько миллионов долларов. Вместе с тем по мере накопления базы опытных данных и совершенствования методов расчетов вычисленные значения ВДК все более приближаются к экспериментальным и узаконенным значениям ПДК (коэффициент корреляции на уровне 0,7).

Материалы, касающиеся обоснования ВДК конкретных химических соединений, поступают в соответствующие проблемные комиссии Минздрава, где они рассматриваются и утверждаются. Срок действия ВДК 2-3 года, но он может быть продлен.

На основе ВДК санитарно-гигиенические институты Минздрава по договору с заказчиком разрабатывают для интересующего вещества временный ОБУВ. До окончания разработки ПДК токсичность выбрасываемого вещества обычно оценивается по аналогии с токсичным действием близкого ему по химическому строению вещества, для которого величины ВДК и ОБУВ уже установлены. В настоящее время известны ОБУВ более чем 1500 веществ (ГН 2.1.6.1339-03).

Общее загрязнение атмосферы городов и населенных пунктов оценивается по 5-балльной шкале:

1 — допустимое загрязнение;

- 2 – слабое загрязнение;
- 3 – умеренное загрязнение;
- 4 – сильное загрязнение;
- 5 – очень сильное загрязнение.

Однобалльное загрязнение безопасно для здоровья человека. При загрязнении в 2-5 баллов вероятность неблагоприятных эффектов возрастает с увеличением степени загрязнения.

Загрязнение атмосферы при одновременном присутствии различных загрязнителей можно определить по показателю ρ , учитывающему характер комбинированного воздействия различных веществ и их класс опасности (*Инженерная...*):

$$\rho = \sqrt{\sum K_i^2}, \quad (2.5)$$

где $K_i = C_i / \text{ПДК}_{с.с.}$, а C_i – фактическая среднегодовая концентрация. Найдя K_i , приводят его к биологическому эквиваленту 3-го класса опасности. Приведение осуществляют по следующим формулам:

$$\text{для } i\text{-го вещества 1-го класса } K_{1.3} = K_i \cdot 3^{2,89 \lg K_i} \quad (2.6)$$

$$\text{для } i\text{-го вещества 2-го класса } K_{2.3} = K_i \cdot (3/2)^{1,55 \lg K_i} \quad (2.7)$$

$$\text{для } i\text{-го вещества 4-го класса } K_{4.3} = (3/4)^{1,05 \lg K_i} \quad (2.8)$$

Полученное расчетное значение показателя ρ позволяет оценить уровень загрязнения атмосферы в зависимости от числа загрязнителей (табл. 2.2).

Табл. 2.2

Связь уровня загрязнения атмосферного воздуха с показателем ρ

Уровень загрязнения	ρ			
	число загрязнителей			
	2-3	4-9	10-20	более 20
1 – допустимый	2	3	4	5
2 – слабый	2,1-4	3,1-6	4,1-8	5,1-10
3 – умеренный	4,1-8	6,1-12	8,1-16	10,1-20
4 – сильный	8,1-16	12,1-24	12,1-24	16,1-32
5 – очень сильный	>16	>24	>32	>40

Общая загрязненность атмосферы может быть также оценена, в соответствии с РД 52.04 186-89, по индексу загрязнения атмосферы (ИЗА). Его рассчитывают как сумму нормированных по ПДК_{с.с.} и приведенных к концентрации диоксида серы средних содержаний различных веществ:

$$Y_i = \sum_{i=1}^n Y_i = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_{срi}}{ПДК_{сси}} \right)^{c_i} \quad (2.9)$$

где Y_i — единичный индекс загрязнения для i -го вещества;

$q_{срi}$ — средняя концентрация i -го вещества;

$ПДК_{сси}$ — $ПДК_{сc}$ для i -го вещества;

c_i — безразмерная константа приведения степени вредности i -го вещества к вредности диоксида серы, зависящая от того, к какому классу опасности принадлежит загрязняющее вещество (табл. 2.3).

Табл. 2.3

Изменение безразмерной константы c_i
в зависимости от класса опасности

Классы опасности	1	2	3	4
Константа c_i	1,7	1,3	1,0	0,9

В расчете ИЗА учитываются только пять загрязнителей с наибольшими фактическими концентрациями.

Следует отметить, что, помимо нормируемых показателей качества атмосферы по величинам ПДК, существуют и другие подходы к определению качества атмосферы. В частности, СанПиН 2.1.6-1032-01 «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест» предусматривает определение потенциала загрязнения атмосферы (ПЗА). Этот потенциал определяется по среднегодовым значениям метеорологических параметров (приложение).

Предельно допустимые уровни вредного физического воздействия рассматриваются в главе 6.

2.2.3. Водоемы

Вопрос о ПДК веществ, загрязняющих водный бассейн, впервые был поставлен в 1944 г. на совместной конференции Московского НИИ водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии. Были предложены ПДК некоторых веществ в промышленных стоках и их гигиенические обоснования. В 1948 г. Всесоюзная государственная санитарная инспекция стала утверждать и публиковать ПДК веществ в водоемах в качестве обязательных гигиенических нормативов. В настоящее время нормирование качества воды рек, озер и других водоемов проводят в соответствии с СанПиН 2.1.5-980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод».

В отличие от атмосферы, которая хорошо усредняется и может рассматриваться как единое целое, водные бассейны более изолированы. В связи с этим по народнохозяйственной значимости и характеру использования водоемы подразделяют на две категории:

- 1 — хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения;
- 2 — рыбохозяйственного назначения.

Вторая категория водных объектов, в свою очередь, делится на два типа:

объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду; объекты для всех других видов рыбохозяйственной деятельности.

Первые ПДК вредных веществ в качестве рыбохозяйственных нормативов и временные правила сброса СВ в рыбохозяйственные водоемы были разработаны в 1957 г. Министерством рыбной промышленности СССР.

Действующими нормами установлены ПДК более 2000 веществ в водоемах первой категории (гигиенические критерии) и более 1150 веществ в водоемах рыбохозяйственного назначения (экологические критерии). Это две самостоятельные, биологически несходные системы нормативов, так как человек слишком удален на биологической лестнице от форм водной биоты (дафний, молоди или икры рыб, одноклеточных водорослей), используемых при разработке ПДК_{р.х}. Последние обычно более жесткие (таб. 2.4). Коэффициент их корреляции с гигиеническими критериями не более 0,38 (Красовский..., №2).

Большая жесткость ПДК_{р.х} обусловлена тем, что рыбы для получения необходимого количества кислорода пропускают через жабры и вводят в организм больше токсических веществ (при равных концентрациях), чем теплокровные животные и человек пропускают с воздухом через легкие или потребляют с хозяйственно-питьевыми водами.

Состав и свойства воды проточных водоемов для объектов питьевого и культурно-бытового назначения должны соответствовать нормам в створах, расположенных на расстоянии 1 км выше ближайшего по течению водостока, а в непроточных водоемах — в радиусе одного километра от пункта водопользования. Состав и свойства воды в рыбохозяйственных водоемах при рассеивающем выпуске (наличии течения) должны отвечать нормам в месте слива сточных вод, а при отсутствии течения — не далее чем в 500 м от места выпуска.

Очевидно, что основным нормирующим показателем, характеризующим качество воды, как и атмосферы, является ПДК.

Таблица 2.4

Предельно допустимые концентрации веществ
в воде водоемов, мг/л

Вещество	Категория водоема			
	I		II	
	ЛПВ	ПДК	ЛПВ	ПДК
Бензол	Санитарно-токсикологический	0,500	Токсикологический	0,500
Бензин	Органолептический	0,100	Рыбохозяйственный	0,010
Керосин	Органолептический	0,100	Рыбохозяйственный	0,010
Cd ²⁺	Санитарно-токсикологический	0,001	Токсикологический	0,005
Cu ²⁺	Органолептический	1,000	Токсикологический	0,001
Zn ²⁺	Общесанитарный	1,000	Токсикологический	0,01
Фенолы	Органолептический	0,001	Рыбохозяйственный	0,001
Цианиды	Санитарно-токсикологический	0,035	Токсикологический	1,0
Cr ⁶⁺	Органолептический	0,05	Токсикологический	0,02

Предельно допустимая концентрация вредного (загрязняющего) вещества в воде водоема (ПДК_в) — это такая его концентрация, которая не оказывает негативного влияния на организм человека при различных видах употребления воды (для питья, приготовления пищи, гигиенических целей и для отдыха).

При установлении ПДК_в принимают во внимание несколько лимитирующих показателей вредности, т.е. под ним понимают определенное наиболее неблагоприятное воздействие каждого вещества. Для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения используют три вида ЛПВ: санитарно-токсикологический, общесанитарный и органолептический. Для водоемов рыбохозяйственного назначения дополнительно применяют еще два ЛПВ: токсикологический и рыбохозяйственный.

При наличии в водоемах нескольких вредных веществ его санитарное состояние должно отвечать требованиям соотношения (2.1) по каждому из ЛПВ. Таким образом, для водоемов хозяйственно-питьевого

и культурно-бытового назначения проверяется выполнение трех неравенств, а для водоемов рыбохозяйственного назначения — пяти. При этом каждое вещество учитывают только в одном неравенстве.

При отсутствии экспериментально установленных значений $ПДК_v$ могут быть рассчитаны $ВДК_v$ (*Беспамятнов...*).

В конкретных случаях определения лимитирующих показателей принимают наименьшие для данного вещества значения $ПДК$.

При выделении зон чрезвычайной экологической ситуации и экологического бедствия предложено использовать суммарный показатель химического загрязнения ($ПХЗ-10$). Его расчет ведут по десяти соединениям с максимальным превышением $ПДК$:

$$ПХЗ - 10 = \frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_{10}}{ПДК_{10}}, \quad (2.10)$$

где индексы при концентрациях C и $ПДК$ обозначают порядковый номер суммируемого соединения.

Концентрация вредных веществ в водоемах, как и в атмосфере, зависит от их количества, выбрасываемого всеми источниками загрязнения. Чтобы эти концентрации не превышали $ПДК$, для каждого источника загрязнения устанавливают величину *предельно допустимого сброса* — массы вещества, максимально возможной к отведению в единицу времени в данном пункте объекта при условии сохранения качества воды в контрольном пункте. Значения $ПДС$ устанавливают на основе $ПДК$ в местах пользования, с учетом ассимилирующей способности водного объекта и других факторов. Величины $ПДС$ для источника в целом используют для расчета $ПДС$ каждого из природопользователей. В общем принципы оценки $ПДС$ для водных источников аналогичны принятым при нормировании выбросов в атмосферу.

Важными характеристиками качества воды являются показатели биологического потребления кислорода, полного биологического потребления кислорода и химической потребности в кислороде, определяемые в $мгO_2/л$ воды.

$БПК$ — количество O_2 , использованное в биологических процессах окисления органических веществ до диоксида углерода и воды за определенное время (2, 5, 8, 10, 20 сут). За стандартное обычно принимается биологическое потребление кислорода за 5 сут при $20^\circ C$ ($БПК_5$).

$БПК_{полн}$ — потребление кислорода до начала процессов нитрификации, т.е. окисления нитритов до нитратов, например по реакции (2.11):



За начало нитрификации принимают появление в воде 0,01 мг/л нитратов. Во многих случаях БПК_{полн} близка по значениям к БПК₂₀. Полная биологическая потребность воды в кислороде при 20°C не должна превышать 3,0 мг/л.

ХПК — количество кислорода, эквивалентное расходуемому окислителем на все восстановители, содержащиеся в воде. ХПК определяется бихроматным методом и включает кислород БПК_{полн}, а также кислород, расходуемый на нитрификацию, на перевод серы в сернистый ангидрид и другие возможные окислительные процессы.

Величины БПК₅, БПК_{полн} и ХПК некоторых соединений приведены в табл. 2.5.

Другие нормативы рассмотрим на примере водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения (СанПиН 2.1.5.980-00).

Взвешенные вещества (грубодисперсные взвеси) нормируются на уровне 0,25 мг/л.

Таблица 2.5

Биологические показатели водных растворов вредных веществ на уровне ПДК, мг O₂/л воды

Вещество	БПК ₅	БПК _{полн}	ХПК
Анилин	1,76	1,90	2,41
Ацетон	1,12	1,68	2,17
Бензины	—	0,11	3,54
Бензол	0,50	1,15	3,07
Метиловый спирт	0,60	1,05	1,50
Мочевина	—	—	1,15
Углерод четыреххлористый	—	—	0,21
Уксусная кислота	—	0,86	1,07
Фенол	1,10	1,18	2,38
Формальдегид	0,68	0,72	1,07

Плавающие примеси (пленки, пятна минеральных масел и другие скопления) на поверхности водоема не должны обнаруживаться.

Запахи, привкусы, ощущаемые непосредственно или после хлорирования, не могут иметь интенсивность более двух баллов по пятибалльной шкале. Вода не должна передавать посторонних запахов и привкусов мясу рыбы.

Окраска воды не должна фиксироваться в столбике высотой 20 см.

Температура воды летом в результате спуска сточных вод не может повышаться более чем на 3°C по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет.

pH — в пределах 6,5-8,5.

Минеральный состав — по сухому остатку не более 1000 мг/л, в том числе хлоридов 350 мг/л и сульфатов 500 мг/л.

Растворенный кислород — не менее 4 мг/л в любой период года в пробе, взятой до 12 часов дня.

Возбудители заболеваний (бактериальное загрязнение воды). Вода не должна иметь колииндекс (число кишечных палочек) более 1 тыс. в одном литре при остаточном хлоре (после обеззараживания) не менее 1,5 мг/л.

Санитарные нормы и правила охраны поверхностных вод от загрязнения запрещают сбрасывать сточные воды в водоемы, если они:

могут быть устранены путем усовершенствования технологии, максимального использования в системах оборотного водоснабжения или устройства бессточных производств;

включают ценные отходы, которые можно утилизировать на данном или другом предприятии;

содержат исходное сырье, реагенты, полу- и конечные продукты в количествах сверх установленных нормами технологических потерь;

в виде кубовых остатков и технологических отходов;

могут быть использованы для орошения в сельском хозяйстве при соблюдении санитарных требований.

2.2.4. Почва

Нормирование химического загрязнения почв устанавливается по предельно допустимым концентрациям (ПДК_п). По своей величине ПДК_п значительно отличаются от принятых допустимых концентраций для воды и воздуха (в большую сторону). Это объясняется тем, что непосредственное поступление вредных веществ в организм из почвы происходит лишь в исключительных случаях и незначительных количествах, в основном через контактирующие с почвой среды (вода, воздух, растения). Нормы ПДК для почв стали разрабатываться и вводиться лишь с 1953 г. и в настоящее время установлены для немногим более ста веществ.

ПДК_п — это концентрация химического вещества (мг/кг) в пахотном слое почвы, которая не должна вызывать прямого или косвенного отрицательного влияния на соприкасающиеся с почвой среды и здоровье человека, а также на самоочищающую способность почвы. Регламентирование загрязнения осуществляется в соответствии со списками № 2264-80 от 30.10.1980 г., № 2546-82 от 30.04.1982 г., приложением к списку № 2546-82 Минздрава СССР, санитарными нормами допустимых концентраций химических веществ в почве (СанПин 42-128-4433-87) и другими документами.

ПДК_п учитывает шесть лимитирующих показателей: органолептический (ОЛ), общесанитарный (ОС), токсикологический (ТЛ), фитоаккумуляционный (ФА), миграционный водный (МВ) и миграционный воздушный (МВ).

Органолептический показатель — это минимальное содержание вещества в почве, вызывающее достоверные отрицательные изменения в пищевой ценности растительной пищи.

Общесанитарный показатель характеризует самоочищающую способность почвы и микробиоценоз. Он представляет собой максимальную концентрацию токсиканта в почве, которая за 7 сут не приводит к сокращению на 50% и более численности микроорганизмов или к отрицательным изменениям (свыше 25%) двух и более показателей биологической активности почвы.

Таблица 2.6

Предельно допустимые концентрации
некоторых загрязняющих веществ в почве

Вещество	ПДК _п , мг/кг	Вещество	ПДК _п , мг/кг
Ацетальдегид	10 по МВ	Перхлордивинил	0,5 по ФА
Бенз(а)пирен	0,02 по ОС	Ртуть	2,1 по ОС
Бромфос	0,4 по ФА	Свинец	32 по ОС
Ванадий	150 по ОС	Сера элементарная	160 по МВ
Изопропилбензол	0,5 по МВ	Серная кислота	160 по ОС
Кадмий	1,14 по ОС	Сероводород	0,4 по МВ
Кобальт	5 по ОС	Стирол	0,1 по МВ
Ксилол	0,3 по ФА	Суперфосфат (P ₂ O ₅)	200 по ФА
Марганец	1500 по ОС	Сурьма	4,5 по ОС
Медь	3 по ОС	Формальдегид	7 по МВ
Мышьяк	2 по ОС	Фтор	2 по ФА
Никель	4 по ОС	Хлористый калий	560 по МВ
Оксид фосфора P ₂ O ₅	200 по ФА	Хром	0,6 по ОС
Отход флотации угля	3000 по ОС, МВ	Цинк	23 по ОС

Токсикологический показатель — максимальная не действующая на организм человека при непосредственном контакте доза загрязнителя в почве.

Остальные лимитирующие показатели — это количество токсикантов в почве, при которых их концентрация соответственно в сельскохозяйственных растениях, грунтовых водах и воздухе не превышает ПДК для пищевых продуктов, воды водоемов и атмосферы.

ПДК_п некоторых веществ даны в табл. 2.6.

В случае применения новых химических соединений, для которых отсутствуют ПДК_п, проводят расчет временных допустимых концентраций (ВДК_п):

$$ВДК_{п} = 1,23 + 0,48 \lg ПДК_{пр}, \quad (2.12)$$

где ПДК_{пр} — предельно допустимая концентрация для продуктов (овощные и плодовые культуры), мг/кг.

Для почв установлены нормы ВДК свыше 75 соединений.

При выявлении зон чрезвычайной ситуации и экологического бедствия загрязнение почв оценивается по суммарному показателю Z_с химического загрязнения. Он определяется как сумма коэффициентов концентраций отдельных компонентов загрязнений по формуле:

$$Z_c = K_{ci} + \dots + K_{cn} - (n - 1), \quad (2.13)$$

где n — число определяемых элементов; K_{сi} — коэффициент концентрации i-го загрязнителя, равный частному от деления его массовых долей в загрязненной и «фоновой» почвах (для тяжелых металлов).

Для загрязняющих веществ антропогенного генезиса коэффициенты концентрации определяются как частное от деления массовой доли загрязнителя на его предельно допустимую концентрацию.

2.2.5. Пищевые продукты

При нормировании химических веществ в пищевых продуктах ПДК устанавливаются с учетом ДСД и ДСП. Их значения определяют на основе пороговых доз, уменьшаемых на величину коэффициента запаса. Необходимость изложенного подхода обуславливается чрезвычайным разнообразием пищевого рациона и его химического состава.

Для нормирования используют следующие показатели вредности: *органолептический*; *общегигиенический* (предупреждает возможность снижения биологической ценности пищевого продукта, ухудшения технологических свойств в процессе обработки); *технологический* (присутствие веществ в обрабатываемом продукте в количествах, соответствующих технологическим регламентам его получения); *токсикологический*.

В пищевых продуктах гигиеническому регламентированию подвергают главным образом пестициды. Нормативы учитывают физико-химические свойства пестицидов, время сохранения их остатков и ме-

таболитов в пищевых продуктах, способы применения, свойства почвы и т.д. Принимается во внимание вид обрабатываемого продукта (зерно, овощи, фрукты и т.п.).

Помимо пестицидов, в пищевых продуктах нормируют содержание и других химических веществ, прежде всего элементных, часть из которых представлена в табл. 2.7.

Расчетный метод для выявления возможной остаточной вредности веществ в пищевых продуктах применяется лишь для пестицидов:

$$ВДК_{ПР} = 0,13 \cdot 10^{-2} ЛД_{50} + 0,76. \quad (2.14)$$

Определение ЛД см. в разд. 2.4.

Уравнение (2.14) имеет коэффициент корреляции 0,7.

2.2.6. Другие вещества

Наряду с вышерассмотренными нормативами установлены допустимые уровни выделения вредных веществ из полимерных материалов в контактирующие с ними среды (вода, воздух, продукты питания). Разрабатываются также нормативы выделения опасных химических веществ, образующихся в результате термодеструкции различных соединений. Эти нормативы используют при гигиенической оценке новых материалов и изделий с целью исключения выпуска продукции, создающей опасность для здоровья человека вследствие выделения из нее вредных химических компонентов или образования при ее горении высокотоксичных соединений.

В целом в настоящее время разработана система стандартов качества природной среды, которая регламентирует уровень воздействия различных веществ на человека. При этом нормативы определяют допустимые, а не оптимальные параметры воздействия. Их соблюдение является минимальной мерой по обеспечению экологической безопасности. Они же являются базовыми при определении уровня выплат за загрязнение окружающей среды природопользователями.

2.2.7. Нерешенные проблемы

Определено, что в окружающей среде содержатся сотни соединений: в атмосфере — около 500, в воздухе жилых и общественных зданий — 560, в питьевой воде — более 140, поверхностных водах — примерно 300, в почве не менее 200. Они относятся к 30 группам веществ. Из одного источника может выделяться от нескольких десят-

Таблица 2.7
 Временные гигиенические нормативы содержания некоторых химических элементов
 в основных пищевых продуктах (ПДК_{пр.} мг/кг)

Элемент	Рыбо- продукты	Мясо- продукты	Молочные продукты	Хлеб, зерно	Овощи	Фрукты	Соки
Алюминий	30,0	10,0	1,0	20,0	30,0	20,0	10,0
Железо	30,0	50,0	3,0	50,0	50,0	50,0	15,0
Кадмий	0,1	0,05	0,01	0,022	0,03	0,03	0,002
Медь	10,0	5,0	0,5	5,0	10,0	10,0	5,0
Мышьяк	1,0	0,5	0,05	0,2	0,2	0,2	0,2
Никель	0,5	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5	0,3
Ртуть	0,5	0,03	0,005	0,01	0,02	0,01	0,005
Свинец	1,0	0,5	0,05	0,2	0,5	0,4	0,4
Сурьма	0,5	0,1	0,05	0,1	0,3	0,3	0,2
Фтор	10,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Хром	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Цинк	40,0	40,0	5,0	25,0	10,0	10,0	10,0

Примечание. Список № 2450-81. М.: Минздрав СССР, 1982.

ков до нескольких сотен соединений. Вместе с тем государственный мониторинг включает лишь стандартный набор в 20-60 контролируемых показателей, которые не дают истинного представления о реальной опасности химического загрязнения окружающей среды.

В поддающихся идентификации загрязняющих веществах атмосферы доля ненормируемых веществ составляет 46-87%, в том числе органических — 52-69%. Доля последних также велика и в других средах: в воде (52-69%), почве (до 90), в воздушной среде жилой зоны (до 70). В дополнение к изложенному следует учитывать, что в атмосфере под действием природных факторов (озон, оксиды азота, ультрафиолетовое излучение, температура) из одного вещества может образоваться более 20 новых.

Поэтому вызывает тревогу тот факт, что система государственного контроля химического загрязнения окружающей среды ориентирована на ограниченное количество показателей. Влияние неизвестных и ненормированных веществ, оставаясь бесконтрольным, может представлять угрозу здоровью населения (Мальшева; разд. 1).

Однако соблюдение даже достаточно узкой нормативной базы глубоко неудовлетворительно, а состояние окружающей среды крайне тревожно.

По данным Главного санитарного врача России Г.Г. Онищенко, в 2000 г. из 222 городов России с регулярными наблюдениями 99 с населением около 50 млн чел. имели индексы загрязнения атмосферы на уровне «очень сильный» и «сильный». В 42 городах загрязнение атмосферы превышало 10 ПДК_{м.р.} Количество проб воды в водоемах 1-й категории, не соответствующих гигиеническим стандартам, в 1999 г. в целом по стране составило 23,8% по микробиологическим и 28,7% по санитарно-химическим показателям. Источники централизованного питьевого водоснабжения на 9,6% не отвечали СНиПам, в том числе 17,4% из них — из-за отсутствия зон санитарной охраны. Еще более неудовлетворительно состояние источников водоснабжения из открытых водоемов: 46,5% из них не соответствуют СНиПам, в том числе 38,4% не имели зон санитарной охраны. Количество проб почвы с превышением ПДК по содержанию пестицидов в 1996-2000 г. составило 2,8-0,7% (Онищенко).

Неудовлетворительное положение с соблюдением нормативов качества ОС обусловлено прежде всего фундаментальными экономическими причинами (кн. 4, разд. 2).

2.3. Сравнение стандартов качества окружающей среды различных стран

Расширение международных связей в части охраны окружающей среды возбуждает естественный интерес к опыту развитых стран в этой области. Достаточный для сравнительного рассмотрения материал накоплен в настоящее время по загрязнению атмосферы.

ПДК_{с.с} наиболее распространенных вредных веществ в некоторых странах представлены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

ПДК_{с.с} загрязнителей некоторых развитых стран и России, мг/м³

Страна	SO ₂	NO ₂	CO	Пыль
Россия	0,05	0,04	3,0	0,15
США	0,365	0,108	—	—
Япония	0,12	0,08	12,5	0,1
ФРГ	0,14	0,08	10,0	0,15
ВОЗ	0,125	—	—	0,12

Как видно, ПДК_{с.с} России жестче, чем других стран. Западные страны руководствуются тем, что чрезмерное ужесточение стандартов качества окружающей среды вызовет и чрезмерные издержки их достижения. По мнению зарубежных специалистов, эти стандарты имеют смысл, если они соотносятся с затратами, которые несет общество. В то же время предусмотренные ими нормы обеспечивают здоровье населения. Часто в США национальные стандарты качества воздуха (НСКВ) устанавливаются на двух уровнях. Первый из них (табл. 2.8) основан на критериях здоровья населения, второй — на критериях благосостояния, связан с воздействием загрязнителей на архитектуру сооружений, растительность и т.п.

Вместе с тем недавно выполненная гармонизация гигиенических нормативов России с рекомендациями ВОЗ, ЕС и стандартами развитых стран показала высокую степень надежности отечественной системы (Красовский..., №2). Более 70% нормативов в коррекции не нуждались. Скорректированные данные приведены в дополнениях 3, 4 к ГН 2.1.5.689-98 (ЭВР. — 2002. — №1. — С. 27-30).

Кроме стандартов, ограничивающих выброс обычных загрязнителей атмосферы, Агентством по охране окружающей среды (АООС) США разработаны стандарты для особо опасных атмосферных загрязнителей: асбеста, бериллия, ртути, хлорвинила, бензола, кадмия, мышьяка, полициклических органических соединений и радионуклидов. Основой этих стандартов является только требование сохранения здо-

ровья населения. Экономическая эффективность в данном случае во внимание не принимается.

В целом перечень ПДК других стран более ограничен, чем российский. Так, в Японии на всю территорию страны распространяются ПДК только пяти веществ-загрязнителей атмосферы.

Кроме общенациональных, в зарубежных странах действуют региональные нормативы (штатов, префектур и т.п.). Региональные власти зачастую вводят более жесткие ограничения по сравнению с государственными. В любом случае стандарты штата в США, например, не могут быть мягче национальных. Однако и эти местные нормативы обычно уступают ПДК_{с.с} России, что видно при сравнении нормативов префектуры Осака (Япония) и российских (табл. 2.9).

ПДК_{с.с} префектуры Осака и России, мг/м³ Таблица 2.9

Норматив ПДК _{с.с} , мг/м ³	Осака	Россия
Цинк и его соединения	0,1	0,05
Оксид углерода	1,3	3,0
Диоксид азота	0,41	0,04
Сероводород	0,15	0,08
Толуол	8,2	0,6
Фенол	0,84	3,0

Наряду с ПДК в зарубежных странах устанавливают нормативы выбросов. В США применяют широкий спектр их ограничения от источников: на единицу массы в единицу времени, на единицу продукции, сырья или площади и т.д. Наиболее распространены ограничения на выброс твердых веществ. Выбросы сернистого ангидрида лимитируют для некоторых технологий, связанных в основном с процессами сжигания топлива. Оксиды азота нормируют только для мощных энергоустановок, в зависимости от вида потребляемого топлива. Ограничения выбросов оксида углерода относятся лишь к производству ферросплавов.

Достоинством защиты окружающей среды в рассматриваемых странах является сочетание командно-административных методов с развитыми рыночными механизмами экологического регулирования. Примером этого является применяемая в США система «торговли выбросами» (кн. 4, разд. 9.6).

2.4. Классы опасности загрязняющих веществ

В зависимости от величины ПДК_{р.з}, а также других показателей токсического действия все химические соединения разделены на 4

класса, нашедшие отражение в списках ПДК_{р.з.}, утвержденных Минздравом СССР. Первый класс составляют чрезвычайно опасные, второй — высокоопасные, третий — умеренно опасные и четвертый — малоопасные вещества. Критерии отнесения вещества к тому или иному классу опасности приведены в табл. 2.10. В ней:

DL_{50} и DL_{50K} — летальные дозы химического вещества (мг/кг), вызывающие гибель 50% животных при попадании соответственно в организм и на кожу (в ряде работ используется запись LD_{50} и LD_{50K});

LK_{50} — летальная концентрация вещества (мг/л), вызывающая при дыхании (мыши — 2 ч, крысы — 4 ч) гибель 50% животных;

$KBIO$ — коэффициент возможного ингаляционного отравления — отношение максимально допустимой концентрации вещества в воздухе при 20°C к LK_{50} ;

$Z_{ост}$ — зона острого действия, определяемая как отношение LK_{50} к $PK_{ост}$;

$PK_{ост}$ — пороговая концентрация острого действия при однократной ингаляции воздуха, мг/л;

$Z_{хр}$ — зона хронического действия, определяемая как отношение $PK_{ост}$ к $PK_{хр}$;

$PK_{хр}$ — пороговая концентрация хронического действия, установленная на лабораторных животных при ингаляции воздуха по 4 ч пять раз в неделю на протяжении 4 мес., мг/л.

Таблица 2.10

Классы опасности химических соединений
в зависимости от токсикометрических характеристик

Показатель	Класс опасности			
	I	II	III	IV
ПДК _{р.з.} , мг/м ³	> 0,1	0,1-1	1-10	> 10
DL_{50} при введении в желудок, мг/кг	< 15	15-150	150-5000	> 5000
DL_{50K} при нанесении на кожу, мг/кг	< 100	100-500	500-2500	> 2500
LK_{50} , мг/л	0,5	0,5-5	5-50	50
$KBIO$	> 300	300-30	30-3	< 3
$Z_{ост}$	< 6	6-18	18-54	> 54
$Z_{хр}$	> 10	10-5	5-2,5	< 2,5

Определение класса опасности индивидуальных веществ и их смесей имеет существенное практическое значение. Оно позволяет наладить дифференцированный учет всех выбросов, обращая особое внимание на вещества I и II классов, обеспечить раздельное тарирование, транспор-

тирование и хранение твердых и жидких токсичных отходов различных классов на свалках, полигонах и в котлованах. В частности, отходы IV класса опасности разрешено размещать на свалках бытовых отходов.

Порядок отнесения веществ, в частности промышленных отходов, к определенному классу опасности, способы их использования, обезвреживания и захоронения подробно рассмотрены в кн. 3, разд. 1.2.

2.5. Стандарты качества природной среды и здоровье населения

Связь стандартов качества природной среды со здоровьем населения исследована в некоторых работах последнего времени.

Предлагается, например, оценка комплексного действия вредных веществ на организм человека, учитывающая такие показатели, как химическое загрязнение воздуха, санитарно-химическая характеристика качества воды, химическое загрязнение почвы (все показатели — суммарные), доза шума. В основу оценки положено суммирование соотношений C_i к ПДК $_i$ по вещественным загрязнителям и уровня шума к ПДУ — для энергетического воздействия. Между комплексным показателем загрязнения среды и здоровьем населения установлены математико-статистические регрессивные зависимости (Антропогенная...).

В другом исследовании в результате обработки статистических данных найдено, что опасность R_i для здоровья находится в логарифмической зависимости от уровня энергетического воздействия или степени превышения ПДК $_{с.с}$ (Румянцев...):

$$R_i = a + b' \lg(C_i / \text{ПДК}_{с.с.i}), \quad (2.15)$$

где a, b' — константы; C_i — концентрация загрязнителя.

Достоверна также зависимость опасности для здоровья населения от концентрации загрязнителя

$$R_i = a + b \lg C_i. \quad (2.16)$$

Коэффициенты корреляции формул (2.15) и (2.16) в ряде случаев весьма близки к единице. В частности, для сероводорода в формуле (2.16) такой коэффициент составляет 0,972. Зависимости (2.15) и (2.16) выведены на основе анализа воздействия на здоровье более 1000 химических веществ.

В исследовании Г.И.Румянцева и С.М.Новикова особенно подчеркивается, что опасность для здоровья, обусловленная превышением концентрации загрязнителя по отношению к его ПДК, не зависит от его класса опасности. Данный вывод, построенный на солидной экспериментальной базе, требует внесения изменений в официальную узаконенную

разработку «Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» (разд. 1.8.2) и в аналогичные документы.

Величина R_i следующим образом определяет степень тяжести возможных заболеваний:

R_i	Степень тяжести возможных заболеваний
1,0-0,9	Смертельные
0,8-0,6	Тяжелые, острые
0,6-0,5	Пороговые острые
0,5-0,2	Тяжелые хронические
0,2-0,1	Пороговые хронические
Менее 0,1	Рефлекторные и эмоциональные реакции
То же	Отсутствие вредных эффектов
0,05 (ПДК и их ана-логи)	Уровни минимального риска

Результаты и выводы исследований Г.И.Румянцева и С.М.Новикова подтверждаются данными других авторов (Жолдакова...).

Токсичность соединений находится в корреляционной зависимости от величины их атомного объема, занимаемого грамм-атомом элемента. Г.И.Сидоренко с соавторами показал, что для получения расчетной величины LD_{50} (мг/кг) необходимо атомный объем элемента ($см^3/г$) умножить на тридцать (Сидоренко..., 1999). Поскольку данный объем зависит от положения элементов в периодической системе Д.И.Менделеева, то и их токсичность имеет такую же зависимость. Это позволяет расчетным методом оценить возможную токсичность элементов и химических соединений одного класса, а также их вероятное воздействие на здоровье населения.

2.6. Действие основных загрязнителей

2.6.1. Общие представления и классификация

Загрязнители — это материальные субстанции (вещественные или энергетические), попадающие в окружающую среду или возникающие в ней в количествах, которые создают концентрации или уровни их воздействия, выходящие за рамки предельных естественных колебаний и оказывающие вредное влияние на природные экосистемы и человека. Отсюда следует, что нет субстанций, которые во всех случаях были бы только загрязнителями или относились к числу безвредных. Можно полагать, что при концентрациях или уровнях воздействия, меньших,

чем ПДК или ПДУ, субстанции безвредны, в противном случае они являются загрязнителями. Так, вредно употребление в больших количествах воды (водянка), пищи (ожирение и инвалидность первой группы), но змеиный яд как ценный ингредиент входит в состав многих лекарственных рецептов.

Многообразие потенциальных загрязнителей требует их классификации. В этом плане известно множество работ. Однако зачастую они содержат существенный недостаток — логические несообразности. Обобщающим примером здесь может служить Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 №7-ФЗ. Его многочисленные логические ошибки детально рассмотрены ранее (Авт.: О видах...).

Ниже представлена разработанная нами фундаментальная классификация загрязнителей окружающей среды, в которой соблюдены все известные правила логического деления понятий: соразмерность, по одному основанию, непрерывность, непересекаемость членов деления (Авт.: *Природопользование...*).

Очевидно, что все виды воздействий на окружающую среду носят материальный характер, т.е. порождены той или иной формой материальной субстанции (рис. 2.1). Остановимся на некоторых из них, требующих пояснений.

Материя является предельно широким по объему понятием (категорией) из разряда философских. По точному определению В.И.Ленина, материя — это объективная реальность, существующая вне нас, независимо от нас и данная нам в ощущениях.

При делении понятия «материя» по принятому в логике ближайшему роду и видовому отличию получаем две материальные субстанции: вещество и энергию.

Под *веществом* понимается материальная субстанция, обладающая массой покоя и представленная химическими элементами и/или их соединениями, т.е. имеющая химический состав. Веществом являются также элементарные частицы, испускаемые радиоактивными веществами при их ядерном распаде (см. далее). Вещество, в свою очередь, может быть живым (биологическим) и неживым.

Хотя и живое, и неживое вещество состоят из химических веществ, термин «химическое» закрепился лишь за неживой субстанцией.

Определение *живого вещества* далеко от устоявшегося. Однако уже отмечено (разд. 1.2), что к основным признакам живого относятся: воспроизведение себе подобных; постоянство гомеостаза, т.е. внутренней среды организма; непрерывный обмен веществом и энергией с окружающей средой (открытые системы); сложный *органический* состав вещества, быстро распадающегося на простые соединения после смерти организма.

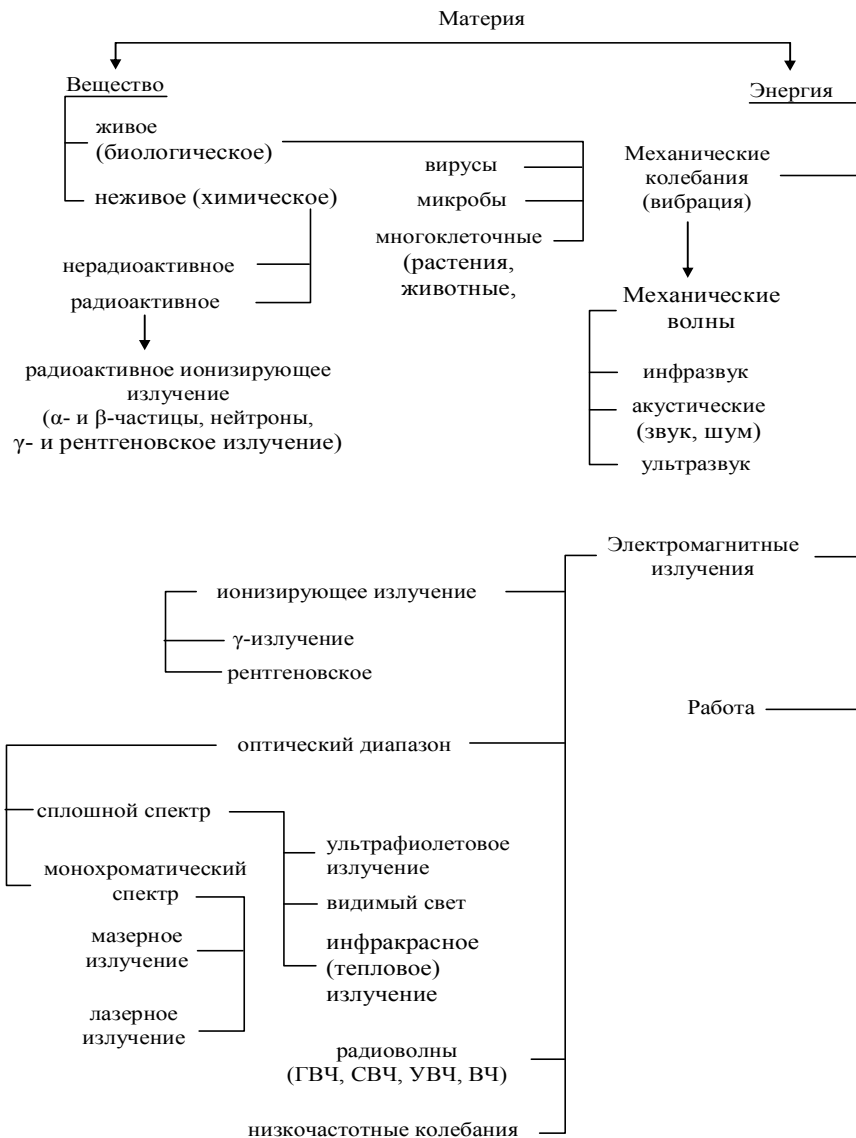


Рис. 2.1. Виды материальных субстанций, оказывающих влияние на окружающую среду

К *микробам* (микроорганизмам), одному из видов живого вещества, относят мельчайшие организмы растительного и животного происхождения, видимые лишь в микроскоп: бактерии, актиномицеты, протисты, дрожжевые и плесневые грибы, микроскопические водоросли и др.

Бактерии — группа преимущественно одноклеточных организмов, не имеющих оформленного ядра. Они широко распространены в природе (вызывают гниение, брожение), используются в ряде отраслей народного хозяйства. *Болезнетворные (патогенные) бактерии* — возбудители многих болезней человека, животных и растений.

Актиномицеты, или лучистые грибы, близки к бактериям. Из ряда их видов получают антибиотики, например стрептомицин. Некоторые виды актиномицетов вызывают хронические инфекционные заболевания человека и домашних животных (актиномикозы).

Протисты, или простейшие, представлены одноклеточными организмами. Одни из них близки к растениям, другие — к животным.

Биологические загрязнители — это случайные или связанные с деятельностью человека и чуждые ему, эксплуатируемым им экосистемам, технологическим устройствам растения, животные и микроорганизмы. Они являются результатом деятельности некоторых предприятий промышленного биосинтеза (антибиотиков, ферментов, вакцин, кормовых белков и др.).

Четкой границы между живыми и неживыми веществами нет, что подтверждается существованием *вирусов* (разд. 1.2).

Неживое вещество не обладает признаками живого и делится на химические соединения с устойчивым атомным ядром (нерадиоактивные) и соединения, подверженные атомному распаду (радиоактивные). Радиоактивный распад вещества сопровождается ионизирующим излучением. Последнее названо так потому, что, проникая в вещество, оно переводит его молекулы в возбужденное состояние, вызывает их диссоциацию на атомы и радикалы, выбивает электроны из атомов, переводя таким образом часть вещества в ионизированное состояние. Применительно к живому веществу ионизирующее излучение при определенных его дозах приводит к тяжелым заболеваниям и/или гибели организма.

Наиболее распространенное радиоактивное ионизирующее излучение представлено электромагнитным (гамма- и рентгеновским) и веществом элементарных частиц: α — положительно заряженные ядра атомов гелия; β — поток электронов; нейтроны, не имеющие заряда, но по массе равные протону.

Все виды вещества при превышении ими некоторых определенных концентраций и количеств оказывают негативное воздействие на ОС. Таким образом, появляется понятие *негативного вещественного воздействия* на ОС.

В народном хозяйстве используют ~ 2 млн химических веществ, подавляющее количество которых даже не с чем сравнить, так как для них не разработаны экологические нормативы и их присутствие не контролируется. Так, одна из самых мощных Московская эпидемиологическая станция проводит анализ не более чем по 55 веществам, а промышленные лаборатории предприятий — по двадцати. Особенно опасны химические вещества, созданные человеком и не имеющие аналогов в природе. Количество последних оценивается в 50-80 тыс. Среди них эксперты ЮНЕСКО выделяют около 200 чрезвычайно опасных загрязнителей, часть из которых рассмотрена далее.

Помимо вещественного, имеется *энергетическое воздействие* на ОС. Оно вызвано наличием неведущей материальной субстанции — энергии, или энергетических полей. Энергия в современной науке рассматривается как общая мера различных видов движения и взаимодействия материи.

В настоящее время можно выделить такие виды энергетических воздействий, как механические колебания и волны, электромагнитные излучения (волны), работа.

Механические колебания (вибрация) заключаются в периодическом изменении координат тела и скорости его перемещения. Они создаются и воспринимаются каким-либо механизмом или телом. Если какая-то часть тела начинает совершать колебания, то, благодаря взаимодействию между его частицами, движение с некоторой скоростью распространится во все стороны. Распространение колебаний в пространстве называют *механической волной*. Необходимым условием этого процесса является наличие твердой, жидкой или газообразной среды. В вакууме механические волны не распространяются.

Механические волны имеют разную частоту колебаний. Различают волны с частотами менее 17 Гц (*инфразвук*), 17-20000 Гц (*звук*) и более 20000 Гц (*ультразвук*). Инфра- и ультразвуки не улавливаются человеческим ухом (не слышимы), колебания в диапазоне 17-20000 Гц воспринимаются как звучание. В технике механические волны в режиме звучания часто называют акустическими, выделяя в них звук (волны определенной частоты) и шум, в которых одновременно присутствуют волны всевозможных частот.

В отличие от механических, для распространения которых необходима газообразная, жидкая или твердая среда, электромагнитные волны могут распространяться и в вакууме, т.е. в пространстве, не содержащем атомов. В остальном они ведут себя подобно механическим волнам, в частности имеют конечную скорость и переносят энергию. Наибольшая скорость электромагнитных волн характерна для вакуума (300 тыс. км/с). В соответствии с теорией относительности Эйнштей-

на, она является предельной при перемещении материальных тел. В других средах скорость распространения электромагнитных волн меньше. Однако в плотном прозрачном веществе, например воде, скорость движения частиц, в частности электронов, может превысить скорость распространения света в данной среде (эффект Черенкова).

Весьма важно отметить, что переменное электрическое поле не может существовать без переменного магнитного, и наоборот, нельзя создать переменное магнитное поле без одновременного возникновения в пространстве переменного электрического.

Длина λ электромагнитных волн может быть самой различной — от 10^7 км до 10^{-11} см. Она связана с частотой ν колебаний и скоростью C распространения соотношением $C = \lambda \cdot \nu$. В настоящее время в зависимости от длин волн и в порядке убывания частот принято выделять *ионизирующее излучение (гамма- и рентгеновское)*, *излучение оптического диапазона (ультрафиолетовое, видимый свет, инфракрасное)*, *радио- и низкочастотные диапазоны*.

Наличие ионизирующих и неионизирующих излучений объясняется тем, что электромагнитные волны различной частоты весьма сильно отличаются друг от друга по интенсивности и, следовательно, по степени их воздействия на вещество. Интенсивность излучения пропорциональна его частоте (формула Планка), поэтому энергия квантов излучения изменяется в очень широких пределах: 12,4-0,012 МэВ для γ -диапазона, 206-0,6 кэВ для рентгеновского, 248-3 эВ для ультрафиолетового, 3,0-1,6 эВ для видимого света, $1,6 \cdot 10^{-3}$ эВ для инфракрасного. Еще более низкие значения интенсивности характерны для радиоволн и низкочастотных электромагнитных колебаний. Энергии квантов γ - и рентгеновского излучения достаточно для ионизации живого и неживого вещества.

Следует также обратить внимание на не всегда воспринимаемые как идентичные понятия «инфракрасное» и «тепловое» (теплота) излучения. *Теплота* — не более чем один из видов передачи электромагнитного (инфракрасного) излучения в оптическом диапазоне.

Вместе с тем под теплотой нельзя понимать какой-то запас энергии. «Встречающееся иногда неправильное сочетание понятия теплоты с запасами чего-то отражает влияние некогда господствовавшей теории теплорода, которая сохранившимися в физике образными, но малоудачными терминами («теплоемкость», «теплопроводность») направляет мысль по неверному пути» (*Путилов*). В современной науке теплота рассматривается как неупорядоченная форма передачи энергии.

Известны две другие формы передачи энергии в виде тепла: теплопроводность и конвекция. Однако они имеют подчиненное значение в

сравнении с электромагнитным излучением и в представленной классификации не отражены.

Так, *теплопроводность* может играть заметную роль при передаче энергии от одной части твердого тела к другой. Очевидно, что этот случай является редким в воздействии на окружающую среду. Теплопроводность вещества в жидком состоянии меньше, чем в твердом, и еще ниже она в газообразной среде. Тем не менее именно гетерофазные системы в окружающей среде наиболее распространены.

Конвекция возможна только в жидких и газообразных средах, при определенном расположении нагреваемого и нагревающего тела (последнее обычно должно располагаться ниже). Однако и в этом случае конвективный перенос энергии является вторичным, так как нагреваемое тело первоначально поглощает избыточную энергию электромагнитного излучения более нагретого тела.

Работа А в современной науке, в отличие от теплоты, рассматривается как упорядоченная форма передачи энергии. Связь ее с теплотой Q устанавливается первым законом термодинамики, в соответствии с которым $Q = \Delta U + A$, где ΔU — изменение внутренней энергии системы. Не являясь, как и Q , термодинамическим параметром системы, величина энергии, передаваемой в форме работы, зависит от пути перемещения системы из одного состояния в другое и различна в том или ином термодинамическом процессе, например изохорном, изобарном, изотермном, адиабатическом для газообразных систем.

Энергия, передаваемая в форме работы, в ряде случаев может привести к существенным изменениям состояния окружающей среды, проявляющимся в виде рукотворных морей, дамб, плотин, карьеров открытой добычи полезных ископаемых глубиной до 1 км и т.д.

Особым видом, созданным человеком и отсутствующим в естественных условиях, является монохроматическое, т.е. определенной частоты, когерентное (согласованное во времени) и узконаправленное излучение электромагнитных волн. Оно создается квантовыми генераторами (лазерами и мазерами). *Лазер* (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation — усиление света при помощи вынужденного излучения) излучает в видимой и инфракрасной частях оптического диапазона, а *мазер* (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation — усиление микроволн при помощи вынужденного излучения) — в микроволновой (ультрафиолетовой) части электромагнитных волн. Известны также рентгеновские квантовые генераторы.

Квантовые генераторы — наиболее сильные источники энергии. В частности, мощность импульса лазерного излучения превышает солнечное в диапазоне видимого света более чем на 15 порядков. Биологическое действие квантового генератора на любые живые организмы уси-

ливается тем, что по отношению к нему у них нет эволюционно выработанных механизмов защиты.

Чисто формально к энергетическому воздействию можно отнести волны *гравитации*, которые пронизывают всю окружающую среду. Однако следует иметь в виду, что человечество не знает ни способов защиты от них, ни возможности воздействия на них. Будучи, однако, естественным элементом ОС, волны гравитации в принципе не являются ее загрязнителем.

Очевидно, что рассмотренная классификация, представляет собой наиболее общее (фундаментальное) структурирование объектов реального, или материального, мира. Однако это не исключает более частных классификаций по иным, чем в рассмотренной, признакам деления.

Так, вещественные загрязнители по *генезису* (происхождению) можно разделить на *естественные* и *антропогенные*. Естественные возникают в результате мощных природных процессов (извержение вулканов, лесные пожары, выветривание и др.) без участия человека. Техногенные загрязнения являются результатом человеческой деятельности. По масштабам воздействия они во многих случаях близки к естественным и даже превосходят их. Признаки деления естественных и техногенных загрязнителей одинаковы, поэтому далее классифицируются только техногенные вещественные загрязнители.

По характеру воздействия на живые организмы можно выделить химические загрязнители *общетоксического* и *специфического действия*. Первые вызывают общие, а вторые — характерные заболевания, например наркотические, аллергенные, мутагенные и др. В ряде случаев загрязнители обладают как общетоксическим, так и специфическим действием, поэтому граница между рассматриваемыми группами зачастую достаточно условна.

Классификация загрязнителей на общетоксические и специфического действия далее принята нами для характеристики наиболее распространенных и опасных поллютантов в окружающей среде.

Энергетические загрязнители и их характеристика рассмотрены в гл. 6.

2.6.2. Химические загрязнители общетоксического действия

Список наиболее распространенных и опасных из них, их экологические нормативы приведены в табл. 2.11. Из нее следует, что большая часть загрязнителей принадлежит веществам первого и второго классов опасности. Рассмотрим наиболее характерные и масштабные

на данном этапе технического прогресса газообразные, жидкие и твердые загрязнители.

2.6.2.1. Газовые и жидкие

К загрязнителям этого типа относятся соединения азота, серы, галогены, оксиды углерода, озон, некоторые комбинации загрязняющих веществ.

Оксиды азота и аммиак

Азот образует шесть соединений с кислородом: N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_4 , N_2O_5 . Как загрязнители атмосферы имеют значение лишь NO и NO_2 .

В атмосферу выбрасывается в основном диоксид азота NO_2 — газ бурого цвета («бурый газ»), с острым запахом, ядовитый, раздражающе действующий на органы дыхания, легкие, поражающий сердце.

Таблица 2.11

ПДК важнейших химических загрязнителей общетоксического действия в атмосфере, мг/м³

Вещество	ПДК _{М.Р.}	ПДК _{С.С.}	Кл. опасн.	Вещество	ПДК _{М.Р.}	ПДК _{С.С.}	Кл. опасн.
Азота диоксид	0,085	0,04	2	Сажа*	0,15	0,05	3
Аммиак	0,2	0,04	4	Свинец	—	0,0003	1
Диоксид серы	0,5	0,05	3	Ртуть	—	0,0003	1
Сероводород	0,008	0,008	2	Соли никеля растворимые*	—	0,0002	1
Сероуглерод	0,03	0,005	2	Кобальт	—	0,001	1
Хлор	0,1	0,03	2	Кадмий**	—	0,002	2
Хлористый водород	0,2	0,2	2	Марганец	—	0,001	2
Фтористый водород	0,02	0,005	2	Мышьяк*	—	0,003	2
Моноксид углерода	5	3	4	Озон	0,16	0,03	1

Примечание. * Дополнительно — канцерогенное действие

Оксид азота (II) — бесцветный газ без запаха, негорючий, слабо растворим в воде, оказывает непосредственное воздействие на центральную нервную систему. На воздухе NO окисляется до NO₂, его концентрация и количества, поступающие в атмосферу, обычно приводятся в совокупности с данными для NO₂ (как сумма NO_x).

Концентрации других оксидов азота в атмосфере исчезающе малы. Из них интересен по свойствам N₂O — оксид азота (I) — безвредный бесцветный газ со слабыми сладковатым запахом и вкусом. Он возбуждающе действует на нервную систему, поэтому его еще называют «веселящим газом». Используется в медицине для общей анестезии.

Смесь оксидов азота так же опасна, как и индивидуальных NO и NO₂, особенно в городах, где они, взаимодействуя с углеводородами выхлопных газов, образуют фотохимический туман — смог. Их действие начинается с легкого кашля, который усиливается при повышении концентрации NO_x и сопровождается рвотой, иногда головной болью. Вредное действие NO_x основано на контакте его с влажной поверхностью слизистой оболочки, что приводит к образованию азотной и азотистой кислот и, как следствие, к поражению внутренних органов, в частности отеку легких.

Воздействие NO_x на растительный мир выражено слабее. При концентрации оксида азота (II) более 0,08 мг/м³ он задерживает рост и развитие овощных культур, снижает урожайность, портит товарный вид сельскохозяйственной продукции. Диоксид азота нарушает азотный обмен и фотосинтез растений. Однако оксиды азота редко присутствуют в атмосфере в таких концентрациях, которые оказывают непосредственное вредное действие на растения. Их отрицательная роль в основном связана с тем, что они участвуют в ряде химических процессов в самой атмосфере.

Так, реагируя с влагой, они создают вторичные загрязняющие вещества типа азотной и азотистой кислот. Под влиянием ультрафиолетового излучения диоксид азота может распадаться на монооксид и атомарный кислород, образующий озон при взаимодействии с молекулярным кислородом. Озон, вступая в контакт с углеводородами, синтезирует загрязняющие вещества типа формальдегидов, альдегидов и т.п. Однако он может разрушаться монооксидом азота с выделением молекулярного кислорода и диоксида азота. Этот процесс ведет к разрушению озонового слоя (разд. 1.6.4).

Источником выбросов оксидов азота служат высокотемпературные процессы горения при избытке воздуха. Наибольшее содержание NO_x отмечается в дымовых выбросах котельных установок. Меры, обратные указанным факторам, снижают содержание оксидов азота. Поми-

мо этого применяют специальные методы очистки отходящих газов (разд. 3.4.3.1).

Аммиак NH_3 — бесцветный газ с удушливым резким запахом, очень хорошо растворим в воде (в одном объеме воды при 20°C растворяется до 700 объемов газа). Водный раствор аммиака называют *нашатырным спиртом*.

Помимо промышленных производств (удобрения, мочевина, азотная кислота), аммиак образуется при сжигании нечистот, в стоках кожевенных, сахарных и животноводческих комплексов.

Наиболее специфическое свойство аммиака — сильный запах, который чувствуется на расстоянии 3-5 км от крупных животноводческих и свиноводческих комплексов. При остром отравлении им наблюдаются слезотечение, сильные приступы кашля, головокружение, мучительные боли в желудке, рвота, задержка мочеиспускания. При хроническом отравлении регистрируются значительные сдвиги высшей нервной деятельности, тенденция к гипотонии, тахикардия. Интенсивность фотосинтеза и дыхания растений при высоком содержании аммиака в воздухе снижается.

Соединения серы

Диоксид серы SO_2 — бесцветный газ с резким, удушливым запахом, хорошо растворим в воде (10,5 г/100 мл при 20°C). Уже в малых концентрациях (20-30 мг/м³) он создает неприятный кисловатый вкус во рту, раздражает слизистые оболочки глаз и дыхательные пути. При продолжительном воздействии сернистого ангидрида развиваются бронхиты, хронические гастриты и другие заболевания, включая рак легких.

Сернистый ангидрид существенно влияет на флору. Наиболее чувствительны к нему леса. При содержании диоксида серы в воздухе 0,23-0,32 мг/м³ хвойные массивы усыхают за 2-3 года. Появляется красновато-коричневая окраска игл, сопровождаемая их почти полным некрозом у молодых деревьев. Хвоя на поврежденных экземплярах сильно редет. Заметные изменения лиственных пород наступают при концентрации SO_2 0,5-1,0 мг/м³. Между большими прожилками листьев постепенно возникают бледно-зеленые или желтоватые участки, которые иногда располагаются и по краям листьев. При более высоких концентрациях загрязнителя даже за короткое время быстро развиваются некроз и разрыв тканей, которые приобретают коричневую окраску. Такие повреждения называют острыми в отличие от других, характерных для менее интенсивных хронических заболеваний.

Продолжительность существования диоксида серы в атмосфере в зависимости от влажности воздуха и других причин колеблется от не-

скольких часов до нескольких суток. За это время он переносится на значительные расстояния, обычно 300-400 км, в некоторых случаях до 1000-1500 км. Переносу сернистого ангидрида на большие расстояния способствует возведение высоких дымовых труб.

Диоксид серы при растворении в воде образует существующую только в водном растворе сернистую кислоту, также обладающую токсическими свойствами. Кроме того, он и вторичные образованные им вещества активно корродируют металлические, цементные, бетонные и другие конструкции (сульфатная коррозия).

Техногенные источники выделения сернистого ангидрида многочисленны: сжигание всех видов топлива, как правило, включающих примеси серы, черная и цветная металлургия, цементные заводы, химическая промышленность, производство целлюлозы, синтетических волокон и т.д.

Триоксид серы SO_3 — бесцветный газ, появляющийся в атмосфере, как правило, в результате окисления сернистого ангидрида под воздействием следов металлов, в частности марганца, а также в присутствии озона и других окислителей. Этот газ энергично взаимодействует с водой и ее парами, синтезируя серную кислоту, которая, в свою очередь, реагирует с аэрозолями металлов, образуя высокодисперсные и потому биологически активные сульфаты, отрицательно влияющие на организм человека. Последние повышают также мутность атмосферы. Растения при контакте с парами серной кислоты буреют, преждевременно теряют листву, сельскохозяйственные культуры снижают урожайность.

Сероводород H_2S — бесцветный газ с запахом тухлых яиц, хорошо растворим в воде (2,5 объема газа на 1 объем воды при $20^\circ C$), образует сероводородную кислоту с относительно слабыми кислотными свойствами. Газ поражает нервную систему, действует на дыхательные пути и глаза с возможными острым и хроническим отравлениями. Последствия перенесенного острого отравления — склонность к повышению температуры и ознобам, параличи, хронический менингит, желудочно-кишечные заболевания, воспаление легких и т.д.

Воздействуя на флору, сероводород вызывает ожоги листьев, снижает интенсивность фотосинтеза, нарушает структуру клеточных мембран.

Промышленные источники выделения сероводорода: коксохимия, производство искусственных волокон, газовые выделения угольных шахт, нефтепромыслов, нефтеперерабатывающих предприятий.

По оценкам, продолжительность жизни сероводорода в атмосфере составляет одни сутки.

Сероуглерод CS_2 — бесцветная жидкость с приятным запахом, частично разлагающаяся на свету. Продукты разложения имеют отвратительный запах.

Хроническое действие малых концентраций сероуглерода приводит к заболеванию центральной, вегетативной, периферической нервных систем, внутренних органов, систем крови, влияет на специфическую функцию женского организма, сексуальную функцию, способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний, язвенных болезней желудка и двенадцатиперстной кишки, вызывает непереносимость алкоголя и т.д.

Антропогенные источники выделения сероуглерода такие же, что и для сероводорода. Концентрация его в атмосфере трудно определима, литературные данные об этом очень скудны.

Галогены

Из группы галогенов (хлор, фтор, бром, йод) соединения первых двух элементов наиболее масштабны по объему промышленного производства.

Хлор Cl — газ желто-зеленого цвета с резким запахом, растворим в воде (2,3 объема на один объем жидкости), образуя *хлорную воду*.

Вдыхание хлора вызывает раздражение дыхательных путей и при больших количествах приводит к летальному исходу из-за торможения дыхательных центров. Газ использован Германией в Первой мировой войне в качестве боевого отравляющего вещества против французских войск на реке Марне (1915). При отравлении малыми концентрациями хлора имеют место покраснение конъюнктивы, неба и глотки, бронхит, одышка, охриплость и т.д.

Хлор подавляет интенсивность фотосинтеза, тормозит рост растений, снижает урожайность сельскохозяйственных культур, вызывает интенсивную коррозию строительных конструкций (металлических, бетонных, цементных).

Источники выброса хлора: титано-магниевые заводы, участки травления гальванических производств, выпуск соляной кислоты, пестицидов, органических красителей, хлорной извести, соды и т.п.

Хлористый водород HCl — бесцветный газ с резким запахом, одно из важнейших соединений хлора, близкое к нему по токсическим свойствам. Газ великолепно растворяется в воде (до 500 объемов на один объем жидкости), образуя соляную кислоту.

При вдыхании хлористый водород раздражает дыхательные пути и вызывает удушье. При хроническом отравлении им наблюдают катар верхних дыхательных путей, разрушение зубов, желудочно-кишечные расстройства, воспалительные заболевания кожи.

Фтор F — зеленовато-желтый газ с сильным запахом, активнейший окислитель, способный взаимодействовать даже с некоторыми

инертными газами (азот, ксенон и др.). Непосредственно фтор не реагирует только с гелием, неонем и аргоном. При соприкосновении с кожей вызывает термические ожоги, раздражает глаза и нос.

Фтористый водород HF — бесцветный газ, растворяется в воде с образованием очень сильной плавиковой кислоты, разъедающей стекло. Симптомы острого и хронического отравления им сходны: носовые кровотечения, болезненность и опухоль носа, насморки, чихание, сухой удушливый кашель, бронхиты, потеря голоса и т.д.

Из других распространенных фтористых соединений к числу летучих относится тетрафторид кремния SiF_4 . Остальные соединения — твердые вещества, хорошо или плохо растворимые в воде. К хорошо растворимым относятся фториды натрия и калия (NaF , KF), гексафторсиликат натрия (Na_2SiF_6). Плохо растворимы фториды алюминия (AlF_3) и кальция (CaF_2 — флюорит), гексафторалюминат натрия (Na_3AlF_6).

Фтор и фтористые соединения являются одними из самых сильных ядов для растений, которые в их присутствии теряют листья и хвою, задерживают рост, замедляют цветение, снижают содержание хлорофилла и скорость фотосинтеза, урожайность. Симптомы поражения хвойных деревьев весьма похожи на вызываемые сернистым ангидридом. Широколиственные растения повреждаются при значительно более низких концентрациях фторидов, чем наиболее чувствительные хвойные породы. Пораженная ткань быстро отмирает и за 1-2 дня меняет окраску листа от светло- до темно-коричневой. Фториды могут также воздействовать на плоды (абрикосы, вишни, груши). Плоды персика гнивают уже при концентрациях фторидов, не намного превышающих фоновые значения.

Соединения фтора выбрасываются в атмосферу алюминиевыми и криолитовыми заводами, при производстве фосфорных удобрений. В атмосферу обычно поступают фтористые водород и кремний, пыль фторидов натрия и калия.

Оксиды углерода

Оксиды углерода представлены двумя формами: монооксидом CO и диоксидом CO_2 . В техногенных процессах они образуются как продукты неполного (CO) и полного (CO_2) сгорания углеродсодержащих топлив.

Монооксид углерода — бесцветный газ без запаха и вкуса, растворим в воде (0,44 г/100 г H_2O).

Монооксид углерода воздействует на нервную и сердечно-сосудистую системы, вызывает удушье. Последнее обусловлено тем, что он связывает гемоглобин крови, ответственный за снабжение организма кислородом. Первые симптомы отравления (появление головных болей,

человек «угорел») возникают через 2-3 ч пребывания в атмосфере, содержащей 200-220 мг/м³ СО. При более высоких концентрациях появляются пульсация височных артерий, головокружение, тошнота, рвота. При хроническом отравлении отмечаются аритмия, учащение пульса, экстрасистолия, неустойчивое кровяное давление со склонностью к гипотонии, стенокардия. Токсичность монооксида углерода возрастает при наличии в воздухе оксидов азота (эффект суммации). В этом случае нормативы ПДК для СО в воздухе необходимо снижать в 1,5 раза.

В меньшей степени монооксид углерода токсичен по отношению к растениям, так как последние окисляют его до СО₂. Однако при концентрациях СО более 1,0% у них наблюдается уменьшение проницаемости клеточных мембран, замедляются рост и дыхание, усиливается развитие корневой системы.

В природных условиях монооксид углерода хорошо поглощается некоторыми видами деревьев (клен, ольха, осина, ель), а также обогащенной органикой почвой, выполняющей по отношению к нему роль адсорбента.

Диоксид углерода — бесцветный газ кислотного вкуса и запаха, растворим в воде (0,38 г/100 г жидкости). В общем он не относится к числу ядовитых, является естественным компонентом воздуха, однако в больших концентрациях опасен для жизни. При содержании в рабочей зоне 4-6% СО₂ дыхание и пульс учащаются, появляется шум в ушах, при концентрации 10% наступает обморочное состояние, а при 20-25% полное отравление организма достигается через несколько секунд. Возможность хронического отравления углекислым газом не показана. Полагают, что он в значительной степени ответствен за явление парникового эффекта (разд. 1.6.1).

Диоксид углерода хорошо поглощается растениями и океанскими водами.

Нормативы ПДК для СО₂ разработаны слабо. В США установлена его ПДК_{м.р} (на уровне 9000 мг/м³). В России ПДК_{р.з} для СО₂ равна 30000 мг/м³ (Титов...). В угольных и озокеритовых шахтах разрешается содержание диоксида углерода до 0,5%. По данным Елисейевой, в общественных и жилых зданиях среднесуточная его концентрация не должна превышать 0,05%, а максимальная разовая — 0,1%, или 1900 мг/м³. В.Ф.Крапивин отмечает, что уровнем концентрации СО₂ в атмосфере, опасным для жизни, являются 0,5%, а при 0,07% СО₂ ухудшаются условия дыхания.

По-видимому, последнее значение, или 1375 мг/м³, сопоставляя его с другими приведенными здесь данными, можно принять за величину ПДК_{с.с} для СО₂ или, точнее, ВДК.

Озон и комбинации загрязняющих веществ

Озон O_3 — бесцветный резко пахнущий газ, относящийся к числу наиболее вредных загрязняющих веществ. Это исключительно реакционноспособное вещество, значительно более сильный окислитель, чем кислород. Из всех присутствующих в загрязненной атмосфере сильных окислителей он наиболее распространен.

При повышенных концентрациях озон поражает у человека органы дыхания (першение в горле, головные боли, снижение кровяного давления и т.д.). Отмечается также раздражение слизистых глаз.

Озон способен модифицировать аминокислоты, изменять механизм процессов белкового обмена, воздействовать на состав ненасыщенных жирных кислот сульфгидрильных остатков, уменьшать содержание некоторых растворимых белков и хлорофилла в растениях. Он оказывает также сильное ингибирующее действие на процесс фиксации диоксида углерода в растениях.

Наиболее важным следствием воздействия озона на флору может быть снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Оно обычно сопровождается появлением у некоторых растений внешних признаков поражения — вначале маленьких пятен с цветом от палевого до темно-коричневого на листьях, сливающихся затем в сплошные пораженные участки с цветами от соломенного до бронзового.

При концентрациях озона, несколько превышающих концентрации, приводящие к этим видимым изменениям, проявляется хлороз, т.е. повреждение листьев, сопровождаемое, как правило, их преждевременными увяданием и потерей.

Озон взаимодействует со многими органическими материалами — природными и искусственными. Особенно чувствительны к его действию эластомеры (резина), текстильные волокна и красители, краски некоторых типов. В зависимости от структуры органического полимера, озон может вызвать обрыв углеродной цепи, образование поперечных связей или оба эти эффекта одновременно, что приводит к уменьшению прочности на разрыв и увеличивает жесткость полимера, делает его более хрупким и менее эластичным.

Источниками попадания озона в атмосферу служат процессы дезинфекции и подавления дурнопахнущих веществ, очистки промышленных стоков, отбеливания тканей, органического синтеза жирных кислот, эпоксидных смол и другие технологии.

Вместе с тем наличие озона в *стратосфере* спасительно для человечества, так как он поглощает смертельно опасное для живых организмов ультрафиолетовое излучение, избыточная интенсивность которого вызывает ожоги кожи и раковые заболевания (см. также 1.6.4).

В воздухе обычно присутствуют не индивидуальные загрязнители, а смесь газов в различных комбинациях.

Эффект, оказываемый комбинацией загрязняющих веществ, может быть либо аддитивным, либо антагонистическим, когда суммарное воздействие ниже, чем сумма индивидуальных воздействий, либо синергическим, т.е. превышающим сумму эффектов отдельных загрязнителей.

Влияние реальных смесей появляется в виде частичной суммации действия n веществ с коэффициентом \sqrt{n} (Пинигин). В настоящее время, в соответствии с ГН 2.1.6.695-98 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест», насчитывается 56 групп суммации.

2.6.2.2. Твердые аэрозоли

Твердые частицы, поступающие в атмосферу вместе с газовыми выбросами, обычно представляют аэрозоли, являющиеся типичными коллоидными или близкими к ним системами (дымами и пылями), оказывающими определенное вредное воздействие на организм человека и окружающую среду, сопоставимое с эффектами газовых и жидких загрязнителей.

Общее влияние на человека

Вредное действие аэрозолей определяется способом их контакта с организмом, размерами частиц и степенью их токсичности. Они могут влиять на зрение, кожу, дыхательные пути, внутренние органы человека, давать общий поражающий эффект.

Попадая на глаза человека, аэрозоли вызывают раздражение, сопровождаемое слезоточивостью и ослаблением зрения. В этом плане наиболее опасны пыли негашеной извести, каменноугольного пека, карбида кальция, цемента, действие которых имеет щелочной характер.

Оседая на коже, частицы аэрозолей проникают в нее, закупоривают отверстия сальных и потовых желез, вызывают воспаление и разъедание кожного покрова.

Наибольший вред наносят пыли и дымы, попадающие внутрь организма с дыханием и пищей.

При вдыхании запыленного воздуха часть пыли задерживается слизистыми оболочками и вызывает воспаление носоглотки и бронхов, часть оседает в легких. Более всего опасны частицы крупностью сверх 5 мкм (задерживаются в верхних дыхательных путях) и 0,5-5,0 мкм (осаждаются в легких), а также аэрозоли с острыми режу-

щими краями, легко травмирующие ткани. Частицы менее 0,2-0,3 мкм удаляются из легких вместе с выдыхаемым воздухом.

С течением времени пыль превращает легочную ткань в фиброидную (пневмокониоз), которая не участвует в кислородном и углекислотном обменах. Различают следующие заболевания легких в зависимости от вида пыли, их вызывающей: *силикоз* (кварцевая пыль), *антракоз* (угольная пыль), *асбестоз* (асбестовая пыль) и т.д. Особенно вредна кварцевая пыль, содержащая более 10% SiO₂.

Помимо легких, аэрозоли поражают и другие внутренние органы, причем удар тому или иному органу наносят вполне определенные соединения, содержащиеся в них, особенно в пылях. Именно последние составляют большую часть аэрозолей в приземном слое.

Специфический вид аэрозолей представляет сажа. Сажа — это весьма дисперсный порошок с размером частиц 0,03-0,09 мкм. Она образуется при неполном сгорании топлива и на 90-95% представлена частицами углерода. Сама по себе сажа нетоксична. Однако вследствие очень большой дисперсности она обладает высокой адсорбционной емкостью, в том числе и по отношению к тяжелым токсичным и канцерогенным углеводородам, включая бенз(а)пирен. Это делает ее весьма опасной для человека. Поскольку сажа может длительное время находиться во взвешенном состоянии, то она существенно увеличивает продолжительность воздействия токсичных веществ на человека.

Отметим и другие свойства аэрозолей, непосредственно угрожающие здоровью и жизни — их взрывоопасность и возможное самовозгорание. Мы уже отмечали эти свойства аэрозолей применительно к угольной пыли (кн.1, разд. 4.1.2.5)). Они же присущи и другим их типам. К ним относятся, например, тонкие пыли железа, алюминия, цинка. Взрывоопасность и самовозгорание пылей зависят от их химического состава, концентрации и дисперсности.

Так, весьма опасны сульфидные пыли. Взрываемость их зависит от концентрации серы и наступает при ее содержании в руде более 18%. Наивысшие по силе взрывы развивают пыли, имеющие более 40% серы. Взрывоопасная концентрация серосодержащих пылей составляет 14-670 мг/см³. Максимальная сила взрыва соответствует их концентрации порядка 300 мг/см³ и дисперсности частиц, равной 70 мкм. Температура воспламенения сульфидной пыли находится в интервале 430-460°C, а серной — около 310°C.

Индивидуальные вещества

Одними из наиболее токсичных являются соединения цветных металлов, особенно тяжелых. Источниками техногенного загрязнения ими

служат предприятия горнодобывающей промышленности, цветной металлургии, выхлопы автотранспорта и т.д. Рассмотрим наиболее вредные соединения.

Свинец Pb. Этот элемент и большинство его соединений относятся к первому классу опасности (табл. 2.11). Свинцовые интоксикации занимают первое место среди профессиональных заболеваний, составляя в них 11,6% (1995 г.).

Основным источником промышленного загрязнения свинцом служит металлургия (671 т, в том числе цветная — 660 т), дающая 87% выбросов предприятий. При этом на два объекта цветной металлургии (Среднеуральский и Красноуральский медеплавильные заводы) приходится ~70% выбросов свинца в отрасли.

В еще больших, чем промышленность, масштабах загрязняет окружающую среду транспорт (4000 т/год), использующий так называемый этилированный бензин, который содержит тетраэтил свинца $(C_2H_5)_4Pb$. Поэтому наибольшие концентрации свинца обнаружены в воздухе и зеленой массе растений вдоль крупных автострад. В атмосфере крупных городов его содержание иногда достигает 5-36 мкг/м³, что превышает естественный фон в 10⁴ раз. Сильно загрязнены также почвы городов, где в 80% случаев наблюдают существенные превышения ПДК свинца. По отмеченным причинам выпуск этилированного бензина во многих странах прекращен (кн. 1, разд. 11.2.1).

В организм человека свинцовая пыль проникает через органы дыхания и с пищей примерно в равных количествах. Под действием свинца нарушается синтез гемоглобина, возникают заболевания дыхательных путей, мочеполовых органов, нервной системы, сужаются сосуды, резко увеличивается порог слышимости у детей. Он также может активно накапливаться в костях. У современных американцев, например, его содержание в организме в ~6400 раз выше естественного «доиндустриального» уровня. Имеются экспериментальные данные о том, что для развития рака в присутствии свинца требуется в 5 раз меньшие количества канцерогенных углеводородов. Его органические соединения еще более токсичны. В целом свинец и его соединения вызывают обычно хронические отравления, которые, однако, у здорового человека в условиях свинцово-плавильного цеха могут возникнуть уже через 1-2 недели после начала работы. Особенно опасны соединения свинца для детей дошкольного возраста. Безопасным уровнем по свинцу является его содержание в крови в пределах $(0,2-0,8) \cdot 10^{-4}\%$.

При воздействии свинца на флору отмирают листья некоторых растений, тормозится прорастание семян, угнетается корневая система, снижаются фотосинтез и урожайность.

Для уменьшения выбросов свинца обычно предлагаются прекращение производства этилированного бензина, свинецсодержащих красок и покрытий, жестяных банок, свинцовой дроби (с заменой на стальную), переработка и утилизация свинецсодержащих аккумуляторов, пылей и возгонов с получением товарного металла.

Вместе с тем загрязнение свинцом не носит глобального характера. В частности, средняя его концентрация в воздухе городов России равна $0,007 \text{ мкг/м}^3$, что ниже ПДК_{с.с} более чем в сорок раз. Загрязнение им поверхностных вод составляет $\sim 6,5 \text{ мкг/л}$ при ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого водоснабжения $0,03 \text{ мг/л}$, которое в 5 раз выше. Невелико загрязнение свинцом сельскохозяйственных угодий.

Ртуть Hg — металл с уникальными свойствами. Он единственный находится в жидком состоянии при обычных условиях (температура плавления $-38,9^\circ\text{C}$), имеет низкую температуру кипения (327°C) и значительное давление паров при комнатных температурах, достаточно тяжел (плотность $13,6 \text{ г/см}^3$). Ртуть попадает в атмосферу при сжигании угля, торфа, при выветривании горных пород, из неутрализованных ртутьсодержащих приборов и т.п.

Из атмосферы ртути и ее соединения мигрируют в почву и водоемы, накапливаясь в них. В частности, по данным наблюдений за 100 лет ее содержание в донных отложениях оз. Вашингтон (США) увеличилось более чем в 100 раз. Антропогенные выбросы ртути составляют $\sim 58\%$ их общего количества.

Ртуть, особенно ее пары, и соединения ртути, твердые при обычных температурах, весьма ядовиты. Прежде всего они поражают центральную нервную систему, что происходит при их вдыхании, всасывании через кожный покров или попадании с пищевыми продуктами. При тяжелых отравлениях наблюдают резкие изменения в почках (некротический нефроз) и летальный исход через 5-6 суток. При хронических отравлениях проявляются повышенная психическая возбудимость, учащенное мочеиспускание. Воздействуя на флору, ртуть вызывает отмирание растений.

Известны массовые отравления ртутью («болезнь Минамата» в Японии в 1953 и 1964-1965 гг.). Причиной заболевания явился сброс неочищенных сточных вод ацетиленового производства в реку, впадающую в бухту Минамата. Таким образом ртуть сточных вод была включена в метаболическую экологическую цепь, ее концентрация достигала 20 мг/кг . При вспышке отравления в 1953 г. заболел 121 человек, треть из них умерла. В 1964-1965 гг. скончалось 52 человека. В их органах и тканях концентрация ртути превышала ее обычные содержания в 50-30000 раз.

Период полувывода ртути составляет 70-80 дней.

Никель Ni поступает в атмосферу из производств цветной металлургии, электротехнических изделий, специальных сплавов, отходов гальванического производства.

При хроническом отравлении никелем появляются белок в моче, носовые кровотечения, нарушается обоняние, снижается кислотность желудочного сока, развивается лейкоцитоз. Под его влиянием отмирают стебли и корни растений, почки роста. В последние годы выявлено также канцерогенное и аллергенное действие никеля, его соединений и сплавов.

Кобальт Co — спутник никеля в металлургическом переделе. Он является одним из микроэлементов удобрений и в малых концентрациях нужен для нормального развития растений, в частности входит в состав витамина B₁₂, необходимого для процесса фиксации азота бактериями и повышающего засухоустойчивость растений. При более значительных его концентрациях (свыше 14 мг/кг почвы) подавляется всхожесть семян.

Признаки хронического отравления кобальтом: кашель, одышка, тошнота, изжога, боли в подложечной области, гипотония, воспалительные заболевания кожи и т.д.

Кадмий Cd — спутник цинка. При добыче и переработке последнего происходит сильное загрязнение среды кадмием. Кроме того, он поступает в атмосферу из гальванических и красильных цехов, при сжигании отходов и мусора, при работе автотранспорта. Из атмосферы кадмий мигрирует в гидросферу и почву, а из них переходит в растения, накапливается там и вместе с растительной пищей попадает в организм человека.

Соединения кадмия весьма ядовиты, действуют на органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, поражают сердце, почки, печень, костную и мышечную ткани. При острых производственных отравлениях 15% из них заканчиваются летальным исходом (США).

Известны случаи массового хронического отравления кадмием (болезнь «Итай-Итай»). Она развивалась у людей, употреблявших в пищу рис, загрязненный кадмием, поступавшим с водами из ирригационных систем (Япония), и сахарный горошек, содержащий значительные количества этого элемента (США). Наряду с ртутью и свинцом кадмий относится к числу наиболее опасных загрязнителей пищевых продуктов. Установлена также корреляционная связь между количеством кадмия в воде, почве и уровнем заболеваний злокачественными новообразованиями среди населения экологически неблагоприятных районов.

Период полувыведения кадмия — 10 лет.

Медь так же, как кобальт и марганец, в небольших количествах является микроэлементом, необходимым растениям. Источники ее по-

ступления в окружающую среду аналогичны указанным для никеля и кобальта.

В более значительных концентрациях соединения меди оказывают резкое раздражающее действие на слизистую оболочку верхних дыхательных путей и желудочно-кишечный тракт, вызывают желтуху, поносы, анемию. При хронической интоксикации медью и ее солями наблюдаются функциональные расстройства нервной системы, нарушения работы печени и почек, изъязвление носовой перегородки.

Растения при воздействии меди замедляют рост и сокращают урожайность. Так, наличие в почве меди в количестве 300 кг/га снижает урожайность картофеля в три раза.

Соединения марганца Mn в окружающей среде имеют тот же генезис, что и никель, кобальт, медь.

Попадая в организм человека с пылью и через желудочно-кишечный тракт, они действуют на центральную нервную систему, вызывают изменения в печени, почках, легких и органах кровообращения.

Период полувыведения марганца — около 37 дней.

Мышьяк As попадает в окружающую среду при сжигании топлива, переработке руд цветных металлов, использовании некоторых ядохимикатов.

Мышьяк ядовит главным образом в соединениях, прежде всего As_2O_3 . Попадая в организм через пищеварительный и дыхательный тракты, он действует на нервную систему, стенки сосудов, вызывает некробиотическое поражение печени, почек, кишечника. Канцероген.

При остром отравлении сильно нарушается функционирование желудочно-кишечного тракта, сопровождается спазмами и диареей. В течение одной-нескольких недель наблюдается также периферическая нейропатия.

Таллий Tl. В последние годы он привлек внимание в качестве металла первого класса опасности. Его соединения бесцветны, не имеют вкуса и запаха, растворимы в воде, особенно сульфаты, ацетаты и карбонаты. Они используются в ядах для грызунов, на предприятиях по производству оптических линз, полупроводников, сцинтилляционных счетчиков, низкотемпературных термопар, в составе высокотемпературной сверхпроводящей керамики, в бижутерии.

Хроническое отравление таллием при контакте с его малыми дозами постепенно приводит к нарушению сна, снижению памяти, агрессивным или депрессивным состояниям, дезориентации, приобретенному слабоумию (деменции), атрофии мышц конечностей.

При остром отравлении через 1-2 ч возникают резкие боли в животе, задерживается дефекация. Спустя 1-2 недели обычно выпадают волосы, развивается алопеция. При больших дозах таллия летальный

исход наступает быстро, до выпадения волос. Известны случаи внезапной остановки сердца через несколько недель после отравления.

Таллий обладает также ярко выраженными мутагенными, канцерогенными и тератогенными свойствами, поэтому в США с 1975 г. содержащие его сельскохозяйственные яды запрещены. Использование в США таллийсодержащего препарата талидомида привело в 70-е годы к рождению детей с множественными пороками развития, включая отсутствующие или недоразвитые конечности.

Время полувыведения таллия из организма составляет 80 ч.

Наряду с описанными, весьма сильными, токсическими соединениями, относящимися к первому классу опасности, являются хром шестивалентный, ванадий, барий углекислый, диоксиды селена и теллура. Некоторые из них обладают канцерогенным воздействием.

Токсическое действие металлов усиливается тем, что большая их часть в атмосфере представлена антропогенными потоками, в которых они находятся в виде аэрозолей с высокой степенью дисперсности (табл. 2.12). В местах выбросов (на предприятиях) аэрозоли содержат частицы ~10-1 мкм, а при удалении от них их размер не превышает 1 мкм. Значительная часть аэрозолей представлена водорастворимыми формами. Это, а также высокая дисперсность обуславливают их большую избыточную энергию и повышенную химическую активность. Как следствие, действие антропогенных выбросов на человека, флору и фауну оказывается значительно существеннее, чем аналогичных природных загрязнителей.

Некоторые цветные металлы могут находиться также в паровой (газообразной) фазе, не задерживаемой фильтрами. Ее доля в ряде случаев превышает 50% выбросов антропогенного характера, например для мышьяка, сурьмы, серебра, кадмия, свинца.

Основные источники эмиссии искусственных аэрозолей, %: 73 Cu, 71 As, 55 Cd — производство меди и никеля; 65 Zn и 30 Cd — выбросы при получении цинка и кадмия; 54 Hg — поступление в атмосферу при горении угля; 46 Ni — попадание в воздух при сжигании нефтепродуктов и еще 32 — при выпуске меди и никеля. Подавляющая доля свинца (86%) выбрасывается в атмосферу при работе автомобильного транспорта.

Широкомасштабная эмиссия цветных металлов обуславливает их содержание в воздушном бассейне, превышающее фоновое в сотни и тысячи раз.

Таблица 2.12

Физические характеристики аэрозолей тяжелых металлов
(Ровинский)

Параметр	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Cd	Hg
Антропогенный поток, % от суммарного	56-87	66-75	94-97	25-85	58-66	84-89	58
Глобальная эмиссия, тыс. т/год	—	56	332	132	18,8	7,6	3,6
Медианный размер частиц, мкм:							
вблизи предприятия	4,4-9,0	9	—	0,8-6,6	—	0,7-5,3	—
при удалении от места выброса	0,8	—	0,4-0,6	0,9	0,3-0,7	0,5-0,7	—
в городской атмосфере (для 50-70% частиц)	0,67	—	0,54	0,93	—	0,49	—
Водорастворимые формы, % от общего	—	39-50	11-32	15-66	—	43-82	—
Скорость сухого оседания, см/с	—	0,4	—	1,6	—	0,14	—

2.6.3. Специфические химические загрязнители

Помимо рассмотренных веществ, оказывающих общетоксическое действие на человека, флору и фауну, имеются другие, обладающие, кроме токсического, дополнительным узконаправленным влиянием (наркотическим, канцерогенным, мутагенным, тератогенным, аллергенным).

Наркотики — сильнодействующие вещества, вызывающие возбужденное состояние и парализующие центральную нервную систему, преимущественно растительного происхождения, изготавливаемые специально. К ним относятся широко известные морфий (алкалоид опиумного мака), опиум (высушенный млечный сок незрелых коробочек мака, содержащий различные алкалоиды, в том числе морфий), героин (продукт глубокой переработки опиумного мака), кокаин (алкалоид, находящийся в листьях южноамериканского кустарника коки), марихуана (получают из индийской конопли), гашиш (смолистые вещества, выделяемые женскими соцветиями индийской конопли), анаша и др. Однако наркотическими свойствами обладают и некоторые вещества — загрязнители окружающей среды, прежде всего углеводороды.

Канцерогены — химические вещества или физические факторы, способные вызывать в живых организмах развитие злокачественных образований. Из организма канцерогенные вещества не выводятся.

Химические канцерогены — многие органические соединения, в частности полициклические ароматические углеводороды, эпоксиды, гепатотоксические яды (четырёххлористый углерод, хлороформ и др.), соединения металлов, например оксиды бериллия, шестивалентного хрома.

К физическим канцерогенным факторам относят рентгеновские лучи, радиоактивное загрязнение атмосферы, а также большие дозы ультрафиолетовых излучений.

Мутагены — химические вещества, вызывающие наследственные изменения в организме (мутации). Часть мутаций приводит к летальному исходу, бесплодию или врожденным уродствам. Под влиянием мутаций могут возникать новые виды болезнетворных бактерий, по отношению к которым человек, фауна и флора не имеют иммунитета. Мутагенным действием обладают многие пестициды, выхлопные газы автомобилей, углеводороды.

Мутации могут быть также вызваны физическими факторами.

Тератогены — химические вещества, влияющие на внутриутробное развитие, способные вызвать врожденные аномалии, пороки развития и уродства человека, животных и растений. Тератогенное воздействие выявлено у ртути, свинца, стирола и других веществ.

Аллергены – вещества, вызывающие измененную реактивность организма к повторным воздействиям различных раздражителей (микробов, чужеродных белков и др.). Изменение реактивности обуславливает понижение иммунитета организма, повышение его чувствительности к отдельным факторам внешней среды. Это приводит к ряду заболеваний (сенная лихорадка, бронхиальная астма, крапивница и др.). К контактным аллергенам относится ~1000 химических веществ, важнейшими из которых являются металлы (Al, Cd, Pb, Ni, Hg, Co, Pd, Pt), их сплавы, красители, клеи, некоторые растительные продукты, а также пыльца растений, яды пчел и ос (при укусах), шерсть животных (кошек), пестициды.

Рассмотрим подробнее наиболее опасные виды специфических загрязнителей и их ПДК (табл. 2.13).

Диоксины. Эти соединения приковали внимание в последние годы в связи с войной во Вьетнаме и трагедией в Севезо (Италия, 1976 г.). В последнем случае в результате аварии на химическом предприятии в атмосферу попала смесь, содержащая около 2 кг одного из диоксинов (2,3,7,8-ТХДД). В результате была заражена территория 11 муниципалитетов с общим числом жителей около 220 тыс. В настоящее время диоксины относят к сильнейшим из всех известных загрязнителей окружающей среды.

Таблица 2.13

ПДК важнейших специфических химических загрязнителей в воздушной (1) и водной средах (2)

Вещество	1, мг/м ³			2, мг/л	
	ПДК _{м.р}	ПДК _{с.с}	Класс опасности	Хозяйственно-питьевые	Рыбохозяйственные
2,3,7,8-ТХДД	—	1·10 ⁻⁹	1	—	—
Бенз(а)пирен	—	1·10 ⁻⁶	1	0,00001	—
Бензол	1,5	0,1	2	0,01	0,5
Фенол	0,01	0,003	2	0,001	0,001
Радон в атмосфере	—	200*	—	—	—
Радон в помещении	—	100*	—	—	—

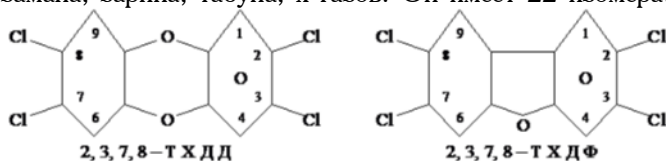
Примечание. *ПДК_{с.с} радона выражены в Бк/м³.

Под диоксинами понимают не какое-то конкретное вещество, а несколько тысяч дибензопроизводных. К ним относятся 75 полихлорированных дибензодиоксинов, 135 полихлорированных дибензофуранов, 210 веществ из броморганических семейств и несколько тысяч смешанных хлорбромсодержащих веществ. В структуру диоксина входят два хлорированных бензольных кольца, соединенных через два атома

кислорода. Фураны отличаются отсутствием одного атома кислорода в химической структуре.

Впервые хлорированный диоксин был получен в 1872 г. в Германии, а bromированный — в 1959 г. в Японии.

Наиболее опасен 2,3,7,8-ТХДД (тетрахлордibenзо-пара-диоксин), соответствующий формуле $C_6H_4Cl_2-O-O-C_6H_4Cl_2$. Его токсическое действие многократно превосходит эффективность других сильных ядов: цианида калия (в 1000 раз), стрихнина (в 500 раз), а также кураре, замана, зарина, табуна, х-газов. Он имеет 22 изомера.



Токсичность этого соединения принята за единицу. Отношение его онкотоксичности к токсичности других диоксинов и фуранов называется эквивалентом токсичности (ЭТ). Суммарная токсичность Т смеси соединений равна $\sum[D_i \cdot \text{ЭТ}_i]$, где D_i — концентрация i-го диоксина в смеси.

В нормальных условиях 2,3,7,8-ТХДД образует бесцветные кристаллы без запаха с температурой плавления 320-325°C. Он не разлагается до 750°C, химически инертен. Растворимость его в воде близка к 0,001%, в ацетоне — 0,2%, в ароматических углеводородах — 15%. Период полураспада соединений в почве составляет 1-9 лет, в организме человека — 6-7 лет.

Для образования диоксинов необходимы кислород, органические и хлорсодержащие соединения, определенная температура. Основными источниками синтеза диоксинов являются: металлургия (агломерация, переплавка лома, содержащего обшивку автомобильных сидений, изоляционные провода и т.д.); химические предприятия, в том числе по синтезу и переработке гербицидов на основе феноксиуксусной кислоты и хлорфенолов; сжигание мусора и захоронение химических отходов, свалки; места использования гербицидов; целлюлозно-бумажные комбинаты с хлорной технологией отбеливания бумаги; двигатели внутреннего сгорания при добавлении в бензин дихлорэтана для очистки от копоти. Катализаторами образования диоксина при горении являются тяжелые металлы. При 1000-1500°C диоксины полностью разрушаются, однако при более низких температурах могут возникнуть их вторичные соединения.

Несмотря на распространенность мнения об опасности образования диоксинов из органического сырья в присутствии хлора и кислорода, известны работы, не подтверждающие этого. К такому выводу приходит, например, исследовательский комитет по промышленным и город-

ским отходам Американского общества инженеров-механиков. На основании 1900 испытаний лабораторного, опытного и промышленного масштабов было показано отсутствие строгой зависимости между использованием хлорсодержащего сырья, материалов и концентрацией полихлорированных диоксинов и фуранов в отходящих газах. Подчеркивается, что всякая связь между хлором, диоксинами и фуранами маскируется другими более важными факторами: конструкцией камер сгорания и рабочими характеристиками процессов (Rigo...).

Симптоматика отравления диоксинами крайне сложна. Пока нет данных, что хотя бы один человек умер от непосредственного воздействия диоксинов или фуранов. Однако диоксины могут годами накапливаться в организме, не вступая в нем ни в какие взаимодействия, а затем дают знать о себе, подавляя иммунные возможности организма. Как следствие, возникают злокачественные опухоли, врожденные уродства, психические расстройства, подавляется человеческая сперма и т.д.

Нормы ПДК диоксинов в различных странах сильно различаются, так как получены экстраполяцией результатов исследований, поставленных только на животных. Официально установленная суточная санитарная норма колеблется от 0,006 до 10 пг на 1 кг живого веса. Концентрация 2,3,7,8-ТХДД в сточных водах допускается не более 0,073 пг/л, а в выбросах отходящих газов — не более 0,1 нг/м³. Сводка данных по ПДК диоксинов приведена в работе Г.Н.Еланского и М.Н.Медведева.

Следует отметить, что в нашей стране систематический контроль содержания диоксинов в окружающей среде отсутствует. Это объясняется высокой стоимостью аппаратуры для их анализа, стандартов и специалистов. Однако выборочные анализы на диоксины в отдельных регионах страны в ряде случаев показали значительную степень загрязнения ими. Так, высокое содержание диоксинов (до 0,01-0,14 мг/кг) обнаружено в продукции химических производств на основе хлорфенолов, например по выпуску гербицидов (Чапаевск, Дзержинск, Уфа и др.). В почвах на территориях указанных производств концентрации диоксинов составляют 0,009-0,04 мг/кг. Еще большие их концентрации выявлены в шламонакопителях этих предприятий (до 0,15 мг/кг). При использовании гербицидов с высоким остаточным содержанием диоксинов их повышенные концентрации найдены в почвах, растениях и пищевых продуктах. В золе установок по сжиганию бытовых и промышленных отходов (Москва, Мурманск) содержание диоксинов достигает 0,0001-0,0009 мг/кг. Последнее вызывает особую тревогу, так как подобные установки и предприятия часто расположены вблизи жилых массивов и населенных пунктов.

Технологии обезвреживания диоксинов рассмотрены в разд. 7.4.

Полициклические ароматические углеводороды относятся к группе карбоциклических соединений. Последние имеют углеродный скелет, состоящий из замкнутых цепей атомов углерода. Непосредственно к ПАУ относят вещества с циклической группировкой из шести атомов углерода (бензольных колец). Своё название они получили в самом начале их открытия, поскольку первые из ПАУ, действительно, обладали приятным запахом. В настоящее время выявлено, что ароматические углеводороды оказывают канцерогенное, мутагенное, тератогенное и токсическое действие, составляя около половины всех канцерогенных соединений.

Источниками поступления ПАУ служат сжигание топлива, производство самоспекающихся анодов для алюминиевых электролизеров, асфальтовые заводы, установки по гидрогенизации угля, автотранспорт и др. Однако основное их количество образуется в коксохимическом производстве, на долю которого приходится более 70% всех канцерогенных выбросов металлургии.

Агентство по охране окружающей среды США выделяет 16 приоритетных ПАУ, среди которых нафталин, антрацен, пирен. Особое место занимают бенз(а)пирен, наиболее активный канцероген воздушного бассейна, и бензол — самый крупнотоннажный из ПАУ.

Бенз(а)пирен $C_{20}H_{12}$ — твёрдое вещество, образующееся из органических соединений в топках и камерах, работающих при недостатке или без доступа воздуха (процесс пиролиза), при температуре 400-500°C и, в особенности, при 800°C. При 1000-1100°C в окислительной (воздушной) среде БП частично сгорает с выделением диоксида углерода и паров воды. Основные источники его образования типичны для ПАУ.

В ряде случаев концентрации БП в окружающей среде заметно превышают допустимые. Так, в среднем по России в 1992 г. его ПДК_{с.с} были превышены в 3,3 раза, а в некоторых городах (Братск, Иркутск, Чита, Улан-Удэ и др.) — в 10-20 раз. В водных объектах 2/3 бенз(а)пирена адсорбируется взвешенными частицами твёрдого. Последние переносят его в толщу воды и в донные осадки, где он постоянно накапливается. В ряде мест БП сильно загрязняет почву при осаждении находящихся в атмосфере частиц пыли с адсорбированными на них ПАУ. Очень высокое (0,05-0,1%) содержание БП обнаружено в шламах газоочистки производства алюминия, в выбросах коксовых батарей (3-20 мкг/м³) и агломерационных фабрик (0,8-2,2 мкг/м³).

Наиболее надёжным способом ликвидации БП является полное сжигание топлива и каталитическое дожигание вредных примесей в отходящих газах (разд. 3.4.3.2). Из методов пылегазоочистки приемлемо лишь использование электрофильтров, обеспечивающих улавливание

ние БП примерно на 65%. Относительно низкая степень улавливания объясняется адсорбцией ПАУ на мелкодисперсных фракциях летучей золы, которые плохо задерживаются современными системами очистки технологических выбросов.

Бензол C_6H_6 — бесцветная огнеопасная жидкость, практически не растворимая в воде. Бензол и его пары ядовиты, горят сильно коптящим пламенем, поражают нервную и сосудистую системы, почки и в наибольшей степени — кроветворение (костный мозг), обладают мутагенными и канцерогенными свойствами, накапливаются в жирах и липидах. Симптомы отравления бензолом: головокружение, рвота, потеря сознания.

Наибольшие количества C_6H_6 в мире образуются при очистке и крекинге нефти (около 26 млн т ежегодно), а также при горении мусора, дерева и других органических отходов. Около 5 млн т бензола выделяется из природных источников. Его потери при производстве, перевозке, на бензоколонках, при сжигании моторного топлива достигают 3 млн т/год.

Большая часть бензола используется в качестве добавки к автомобильному бензину. И хотя необходимость его снижения в горючем очевидна, сделать это непросто, так как падает октановое число (качество) бензина, что требует введения в него антидетонаторов.

Токсическим действием обладает ряд кислородосодержащих органических соединений, например метиловый спирт, фенол, альдегиды. Из них наиболее опасен фенол.

Фенол C_6H_5OH — гидроксильная производная бензола, кристаллическое вещество с резким характерным запахом, плавится при $40,9^\circ C$, кипит при $188^\circ C$. Фенол частично растворим в воде (8,2 г на 100 г H_2O), обладает сильными антисептическими свойствами, т.е. способен убивать многие микроорганизмы, сильный нервный яд. При действии на кожу обжигает ее, образуя волдыри и язвы. При хроническом отравлении вызывает раздражение дыхательных путей, расстройство пищеварения, тошноту, потливость, слюноотделение и т.д. Он имеет один из наиболее низких лимитирующих показателей вредности в объектах хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения.

Основными источниками выделения фенола служат коксохимическое производство, стоки предприятий лакокрасочной, лесной и целлюлозно-бумажной промышленности, коммунального хозяйства. Вредное воздействие фенола усиливается эффектом четырехкратной суммации в его присутствии ПДК таких распространенных загрязнителей, как сернистый ангидрид и оксид углерода.

Полихлорированные бифенилы входят в группу стойких хлорорганических соединений — производных ароматических углеводородов. Опасность этих веществ связана с их способностью аккумулироваться

в трофических (пищевых) цепях, в первую очередь в жировых тканях. Их ПДК в атмосфере и почве установлены соответственно на уровне $0,001 \text{ мг/м}^3$ и $0,06 \text{ мг/кг}$. При неполном сгорании, например на мусорных свалках, ПХБ образуют диоксины и дибензофураны.

На территориях вокруг предприятий РФ, производящих или использующих ПХБ (конденсаторные, металлургические заводы в Дзержинске, Серпухове, Челябинской области и др.), их содержание в почвах превышает нормативы в 5-33 раза. По результатам выборочного анализа грудного женского молока в ряде городов (Пенза, Москва, Ростов и т.д.) установлено, что суточное поступление полихлорбифенилов в организм грудного ребенка превышает допустимое в 5-12 раз.

В настоящее время во многих странах применение ПХБ запрещено или резко ограничено. В России закрыты некоторые производства, их использующие, хотя они обладают рядом уникальных свойств, в том числе химической, термической и биологической устойчивостью, высокой диэлектрической постоянной, позволяющей широко применять ПХБ в электротехнике и других отраслях промышленности.

Пестициды. Эти средства химической защиты растений от вредителей, грибковых болезней и сорняков служат одним из эффективных способов интенсификации технологий в растениеводстве (кн. 1, разд. 13.4). Вместе с тем их использование требует соблюдения строгих правил проведения работ.

Опасность пестицидов обусловлена прежде всего тем, что они активно включаются в трофические цепи и аккумулируются в тканях животных. Так, один из пестицидов (ДДТ), известный как «дуст» и в настоящее время запрещенный к применению, был обнаружен в организме пингвинов Антарктиды, основное питание которых составляет морская рыба. В настоящее время разрешено использование более 60 различных пестицидов, относящихся к самым разнообразным классам химических соединений. Все они, помимо специфического действия на сельскохозяйственных вредителей (инсектициды), патогенные грибы (фунгициды) и сорняки (гербициды), могут вызывать неблагоприятные отдаленные последствия канцерогенного, эмбриотоксического, тератогенного и тому подобного характера.

Особо опасны гербициды, относящиеся к группе стойких хлорорганических соединений (ДДТ, ГХБ, ГХЦБ и др.). В частности, широко применяют гербициды, основу которых составляют фенилы C_6H_5 в сочетании с кислородом, т.е. феноксигруппа $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}$. Последняя включает также два атома хлора. Хлорорганические пестициды, будучи опасны сами по себе, зачастую содержат трудно выделяемые из них и близкие им по составу диоксины, поражающее действие которых многократно выше. Так, опыт применения американскими войсками во

время войны во Вьетнаме дефолианта «Эйджент ориндж», в котором в незначительных количествах присутствовал диоксин, показал, что жертвами химической войны стали не только вьетнамцы, но и тысячи американских солдат, хотя общее количество распыленного препарата составило не более 5 т. ПДК_п ряда пестицидов изменяются от 0,05 мг/кг (хлорамп) до 0,5 мг/кг (прометрин, хлорофос, полихлорпинен) и более высоких значений.

Радон Rn — радиоактивный химический элемент из группы инертных газов. При распаде тория, урана-238 и радия он образует несколько радиоактивных изотопов, наиболее долгоживущий из которых имеет период полураспада 3,8 сут. Радон — самый тяжелый из газов, его плотность (10 кг/м^3) в 7,5 раз выше, чем воздуха. Содержание радона в атмосфере ничтожно, но его измеримые количества имеются в некоторых источниках, вода которых используется в медицинских целях (радоновые ванны).

При распаде радиоактивных элементов радон по разломам и трещинам земной коры диффундирует на поверхность. Эту его особенность используют для отыскания месторождений радиоактивных полезных ископаемых («радоновая» геологическая разведка), особенно на территориях с тектонической и сейсмической активностью.

Полагают, что радон совместно с дочерними продуктами распада дает 90% годовой индивидуальной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от наземных источников радиации. Его считают безусловно канцерогенным для человека, он служит причиной более чем 20% случаев заболевания раком легких, трахеи и бронхов, хотя его среднее содержание в атмосфере (2 Бк/м^3) значительно ниже ПДК. Риск смерти от данных заболеваний, связанный с атмосферным радоном, выше, чем от других опасных факторов среды обитания.

Кроме естественного выделения из земной коры, заметным источником радиоактивной эмиссии радона могут служить некоторые строительные материалы и их компоненты: кальцийсиликатный шлак (2140 Бк на 1 кг массы), глинозем (до 1367), фосфогипс (571), золы ТЭС (341), гранит (170). Это обстоятельство, а также значительно большая в сравнении с воздухом плотность радона определяют возможность его концентрирования в помещениях, в частности в подвалах жилых зданий. Так, высокие содержания радона, в 5000 раз большие, чем в наружной атмосфере, обнаружены внутри строений в Швеции и Финляндии, пятисоткратные превышения выявлены при обследовании помещений в Великобритании и США.

Резюмируя воздействие на окружающую среду специфических химических загрязнителей, можно отметить, что обусловленная их присутствием степень риска в части канцерогенного и мутагенного пора-

жения в несколько раз превышает опасность, вызываемую радиоактивным загрязнением.

Развитые страны предпринимают согласованные усилия по ограничению этого риска. Так, в 1998 г. под эгидой ООН в Дании состоялась встреча министров по охране окружающей среды многих стран. На ней, в соответствии с Монреальским протоколом по веществам, разрушающим озоновый слой, был подтвержден запрет к 2000 г. 12 особо стойких органических загрязнителей (СОЗ), к 2005 г. — полихлорированных дифенилов (бифенилов), сокращение выбросов диоксинов, фуранов, гексахлорбензола и ПАУ, а также свинца, кадмия, ртути. Эти решения выполнены. К 2010 г. запланировано запрещение этилового бензина, однако в 30 странах срок сокращен до 2005 г. (Toxic...). Другие мероприятия также выполняются в установленные сроки.

В настоящее время главным правовым актом, устанавливающим нормы по охране ОС и здоровья населения от воздействия СОЗ, является Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (2001 г.). К 2005 г. ее подписали более 150 стран и 60 из них ее ратифицировали. В 2004 г. она вступила в силу. Каждая сторона, подписавшая Конвенцию, разрабатывает и реализует план выполнения обязательств по сокращению или устранению выбросов СОЗ. Наша страна подписала Стокгольмскую конвенцию в 2002 г., но до сих пор ее не ратифицировала (Соловьянов).

2.7. Перспективы альтернативной биоиндикационной системы контроля загрязнения окружающей среды

Известна точка зрения ряда специалистов, согласно которой система, основанная на раздельном определении концентраций опасных веществ и сопоставлении их с ПДК, не может быть признана эффективной. Так, во многих случаях при установлении ПДК учитывается только прямое токсикологическое воздействие, многие косвенные эффекты остаются в стороне. Не менее серьезным недостатком полагают и то, что изолированное действие отдельных химических веществ без учета реальной экологической ситуации не отражает истинной картины воздействия. В результате происходящих химических превращений в природной, например водной, среде происходит образование новых соединений, которые могут быть токсичнее исходных ингредиентов. Вредное влияние физических, химических и других факторов при их комбинировании может привести к синергическому эффекту.

Отсутствие соответствия между лабораторными и природными моделями экосистем приводит к тому, что ПДК часто оказываются за-

вышенными. Поэтому, несмотря на соблюдение ПДК в водоемах, гидробиологический мониторинг может показать ухудшение их экологического состояния.

Полагают, что преодолеть перечисленные пробелы призвана система экологического нормирования, основанная на биотической концепции А.П. Левича по контролю природной среды. Она предполагает существование причинно-следственной связи между уровнями воздействия на биоту и ее откликом. Задача биотического подхода — выявить в пространстве абиотических факторов границы между областями нормального и патологического функционирования природных объектов. Утверждается, что такие границы, названные экологически допустимыми уровнями (ЭДУ), приходят на смену нормативам ПДК (Булгаков).

Метод ЭДУ опробован на различных водных объектах России, где биотическими индикаторами экологического состояния выступали: индексы сапробности по фито- и зоопланктону, обрастанию, биотические и олигохетные индексы по зообентосу; показатели уловов и урожайности рыб; ранговые распределения видов и размерно-морфологических групп обрастания, численности видов зоопланктона.

Методы биотестирования, действительно, имеют ряд положительных сторон: просты и удобны в применении, быстровыполнимы, позволяют одновременно оценивать действие на тест-объекты всего спектра загрязнения воды. Эти методы привлекли внимание природоохранных служб как легкодоступное средство определения токсичности СВ для исчисления платы за их сброс. С помощью биотестов осуществлен токсикологический контроль стоков свыше 12 тыс. промышленных предприятий. В последние годы на разных уровнях, от депутатских чтений в Государственной думе до совещаний в службах Госсанэпиднадзора РФ, стали обсуждаться предложения о внедрении результатов биотестирования как единственного критерия опасности стоков для определения условий их сброса в водные объекты, в том числе хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения.

Однако очевидны и недостатки биотестирования. Оно не предусматривает определение отдельных веществ, их концентраций в воде, видов биологических эффектов, классов опасности, лимитирующих признаков вредности. Критерием безвредности СВ при использовании биотестирования является «отсутствие токсичности», установленное по результатам кратковременных экспресс-экспериментов (от 5 мин до 1-2 сут).

«Отсутствие токсичности» допускает чрезвычайно опасные для человека уровни веществ в воде водоемов, в сотни и тысячи раз превышающие гигиенические ПДК, в частности до 30 тыс. раз при биотестировании на дафниях (Красовский..., №3).

Таким образом, биотестирование стоков на основе критерия «отсутствие токсичности» не обеспечивает безопасность водопользования населением, что является одним из основных недостатков метода. Он обусловлен тем, что биотестирование — это экспресс-оценка токсичности в кратковременных опытах, которую сопоставляют с критерием безопасности воды для человека (ПДК), устанавливаемыми в хронических экспериментах. Кроме того, кумулятивные свойства веществ резко различаются для человека и тест-объектов.

Еще более существенный по тяжести последствий для населения недостаток биотестирования — это невозможность выявления в воде веществ, оказывающих канцерогенное действие. Обычно используемые для оценки стоков биотесты реагируют лишь на общетоксическое действие веществ, а канцерогенный эффект не воспроизводится. Привлекательная простота определения «отсутствия токсичности» может оказаться индифферентной по отношению к превышению ПДК канцерогенных веществ в пределах от 30 тыс. (этилхлоргидрин) до 5,6 млн (акриламид в сперме быка) раз.

Неинформативны кратковременные биотесты и в отношении веществ, оказывающих другие отдаленные и специфические виды воздействия. Регистрируются лишь видимые токсические эффекты (гибель, угнетение роста, гашение светимости, снижение подвижности, но нет отклика на аллергенное, тератогенное влияние, нейротоксичность веществ и т.д.

Биотестирование не учитывает и того обстоятельства, что почти половина гигиенических нормативов установлена по органолептическому признаку вредности веществ. Поступление в водоисточники веществ, не выявленных при биотестировании, но изменяющих органолептические свойства водного бассейна, может привести к катастрофическим последствиям при их переходе в питьевую воду или в зонах рекреации из-за наличия красителей, нефтепродуктов, ПАВ и др.

И наконец, небольшая (10-14%) группа веществ избирательно токсична для тест-объектов, например медь, аммиак, серебро, пестициды. В этом случае контроль на основе биотестирования приведет к абсурду, поскольку в водные объекты хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения нельзя будет сбрасывать СВ, содержащие такие вещества даже в концентрациях на уровне ПДК для питьевых вод.

Противники тотальной ломки существующей системы гигиенического нормирования подчеркивают, что определение условий сброса сточных вод на основе биотестирования — это легализация повсеместного и опасного загрязнения водных объектов страны. Действительно, по России в целом не более 11% стоков сбрасываются нормативно очищенными, т.е. обеспечивают соблюдение гигиенических и рыбохозяйст-

венных ПДК в воде. В то же время, например, по заключению одного из авторов (Н.С. Жмур), рекомендующих метод биотестирования, 80% сточных вод шести ведущих регионов России оцениваются в биотестах как нетоксичные или малотоксичные.

Вместе с тем можно полагать, что в ряде случаев методы биотестирования эффективны и допустимы: для выявления аварийных сбросов, изменений технологических процессов, поиска дополнительных источников загрязнения, скрининга веществ, попавших в воду в результате террористических актов; при скрининг-обнаружении токсичных компонентов, пропущенных при обзорных анализах спектра химического загрязнения воды; для установления нарушений условий формирования стоков.

В целом биотестирование не может заменить существующую государственную систему санитарных норм и правил — основу охраны здоровья населения в области гигиены воды и санитарной охраны водоемов (Красовский..., №3).

Защита атмосферы

Атмосфера — весьма подвижный и изменчивый элемент природной среды, находящийся в непрерывном взаимодействии и обмене с другими ее частями — гидросферой и литосферой.

Большая часть ее массы (порядка 60-70%) сосредоточена в приземном слое толщиной 10-18 км (тропосфере). Он входит составной частью в биосферу и играет важную роль в технологиях природопользования как источник одного из основных компонентов первичного сырья (воздуха). Более высокие слои атмосферы (стратосфера, мезосфера, термосфера, экзосфера), кратко рассмотренные в разд. 1.1, непосредственного участия в процессах, связанных с обеспечением производственной деятельности человека, не принимают и в понятие биосферы не включаются.

3.1. Общие сведения

Атмосфера всегда содержит определенное количество примесей, поступающих от естественных и антропогенных источников (табл. 3.1).

К примесям, выделяемым естественными источниками, относят аэрозоли (растительные, вулканические, космические, эрозии почв, морских солей, туманы), газы лесных и степных пожаров, вулканические, продукты жизнедеятельности и распада растительного, животного, микробиологического происхождения и т.д.

Естественные источники загрязнения бывают либо *распределенными* (выпадение космической пыли), либо *кратковременными* стихийными типа лесных и степных пожаров, извержений вулканов и т.п. Уровень загрязнения атмосферы естественными источниками является фоновым и мало изменяется со временем. Организмы, как правило, успевают адаптироваться к естественным изменениям загрязнения окружающей среды.

Более устойчивые зоны повышенных концентраций загрязнений возникают в местах активной жизнедеятельности человека. Антропогенные загрязнения отличаются многообразием видов и многочисленностью источников. Если в начале 20 в. в промышленности использовали 19 химических элементов, то в середине его — уже 50, а с 70-х годов — практически все элементы таблицы Д.И.Менделеева. Это привело к качественно новому этапу — загрязнению атмосферы соединениями, весьма редко встречающимися или не существующими в природе, в частности аэрозолями тяжелых, редких и радиоактивных металлов, синтетическими, канцерогенными, бактериологическими и другими веществами.

Таблица 3.1
Основные источники естественного и антропогенного загрязнения атмосферы

Примеси	Источники		Среднегодовая концентрация в воздухе, мг/м ³
	естественные	антропогенные	
Твердые частицы (аэрозоль, пыль и др.)	Вулканические извержения, пылевые бури, лесные пожары и т.п.	Сжигание топлива в промышленных и бытовых установках	В городах 0,04-0,4
SO ₂	Вулканические извержения, окисление серы и сульфидов лито- и гидросферы	То же, цветная металлургия	В городах до 1,0
NO _x	Лесные пожары	Промышленность, автотранспорт, теплоэлектростанции	В районах с развитой промышленностью до 0,2
CO	Лесные пожары, выделения океанов, окисление терпенов	Автотранспорт, черная металлургия	В городах 1-50
Летучие углеводороды	Лесные пожары, природный метан, природные терпены	Автотранспорт, дожигание отходов, испарение нефтепродуктов	В районах с развитой промышленностью 3,0
Полициклические ароматические углеводороды	Нет	Автотранспорт, химические заводы, нефтепереработка	В районах с развитой промышленностью до 0,01

Основные антропогенные загрязнения атмосферы создает сфера материального производства. Доля ее ведущих отраслей в загрязнениях на территории России распределяется следующим образом, %: транспортные средства — 40, теплоэнергетика — 25, промышленность и предприятия строительных материалов — 35. В США атмосферные загрязнения создают, %: транспортные средства — 50; теплоэнергетика — 20; промышленные предприятия — 15; установки для сжигания отходов — 5; прочие — 10.

К самым распространенным веществам-загрязнителям атмосферы относятся оксид углерода, диоксид серы (29%), оксиды азота (8%) и аэрозоли. Среди других техногенных загрязнителей следует отметить триоксид серы, сероводород и сероуглерод, аммиак, галогенсодержащие газы (в том числе фтористый и хлористый водород), ряд углеводородов, например бензол, толуол, бенз(а)пирен — всего более 500 соединений, и их количество продолжает увеличиваться (Терещенко).

Анализ вклада канцерогенных и канцерогенных веществ в загрязнение воздуха показал, что, вопреки ожиданиям, определяющим является воздействие загрязнителей первой группы. Оно обуславливает до 90% смертей, вызванных ухудшением состояния атмосферы. Вклад канцерогенов (бензол, ПВХ, бенз(а)пирен, кадмий, никель и др.) в развитие злокачественных новообразований составляет только 1-3% и не превышает 10% в общей смертности, определяемой загрязнением воздуха.

Защита атмосферы требует существенных финансовых средств. В 2000 г. мировые затраты на очистку воздуха должны были составить 197 млрд дол. Более 50% из них приходится на химические и смежные производства. На угольных ТЭС затраты на очистку могли достигнуть 63 млрд дол/год, в том числе от выбросов NO_x — 5 млрд дол (Air...).

Отталкиваясь от одного из эмпирических обобщений, так называемого экологического закона 10% (разд. 1.8.1), на основании данных табл. 3.2 можно заключить, что, вероятно, доля отдельных загрязнителей атмосферы либо переросла допустимый уровень, либо близка к нему. В соответствии с этим законом, материально-вещественные перемены в системе природы, достигшие 10%, могут так изменить ее характер, что одна экосистема или геосистема превращается в другую. И хотя реальные отклонения от закона 10% по конкретным потокам вещества могут отличаться на порядок, положение с общим загрязнением атмосферы следует рассматривать как угрожающее. В частности, превышение концентраций выброшенных веществ по отношению к фоновому уровню в загрязненном атмосферном воздухе составляет в среднем по оксиду углерода 80-1250, по диоксиду серы — 50-300, по диоксиду азота до — 25. Примерный состав выбросов в атмосферу больших промышленных городов равен, %: CO — 45; SO_x — 18; C_nH_m — 15; NO_x — 10; пыли — 12.

Таблица 3.2

Количество антропогенных выбросов в атмосферу, млн т/год

Вещество	Выбросы		Доля антропогенных выбросов, % от общих
	естественные	антропогенные	
Твердые частицы	3700	1000	27
СО	5000	304	5,7
Углеводороды	2600	88	3,3
NO _x	770	53	6,5
SO _x	650	100	13,3
CO ₂	485000	18300	3,6

Вред, наносимый поступающими в атмосферу промышленными загрязнителями, известен: гибель флоры и фауны, снижение урожайности и качества продукции сельского хозяйства, преждевременное разрушение жилищ, металлоконструкций промышленных и гражданских сооружений, изменение климата отдельных регионов и т.д. Наиболее надежным средством защиты от этого вреда являются способы и аппаратура пыле- и газоулавливания. Так, их использование в США позволило в период с 1990 по 1997 г. снизить выбросы основных загрязнителей воздушного бассейна на 31%. За тот же период рост ВВП составил 114%, народонаселения — 31, общего километража автомобилей — 127%, что свидетельствует о возможности совмещения экономического роста государства с политикой чистой окружающей среды. За 1970-2000 г. получены аналогичные данные (Air ...).

3.2. Пылеочистка отходящих газов

3.2.1. Пылеобразование и пылеподавление

Частицы пыли представлены, как правило, аэрозолями или близкими к ним по размерам системами с твердой и жидкой дисперсной фазой (дымами, пылями, туманами). В технической литературе обычно не делают различий между дымами и пылями, применяя к процессам очистки газов от взвешенных в них твердых частиц общий термин «пылеулавливание».

Наличие в промышленных газах взвешенных частиц является результатом механических (дробление, измельчение, перемешивание, погрузочно-разгрузочные операции) и химических процессов. Пыли, образующиеся при конденсации паров, называют *возгонами*. В большин-

стве случаев взвеси, появившиеся в механических процессах, состоят из частиц размером 5 мкм и более, а пыли химических процессов представлены частицами диаметром менее 1 мкм.

Борьба с аэрозольными загрязнителями начинается еще до того, как они выбрасываются из технологического агрегата. В этом плане стремятся провести ряд мероприятий по сокращению самого пылевыделения, снизить число и мощность его источников.

Наиболее эффективным способом устранения или резкого снижения пылеобразования является применение малопылящего оборудования. Например, при прочих равных условиях используют дробилки, порода в которых разрушается раздавливанием и раскалыванием (щековые, конусные), а не ударом и истиранием (роторные, молотковые, истиратели). При выборе грохотов учитывают, что вибрационные конструкции энергично встряхивают материал и потому сильно пылят, а валковые пылят меньше, чем барабанные, и т.д.

В погрузочно-транспортных операциях необходимо стремиться к сокращению точек перегрузок, уменьшению их высоты и скорости движения материала, к использованию малопылящих разгрузочно-погрузочных устройств (спиральных спускных желобов, редукторных, а не трансмиссионных, передач и т.п.).

Значительный эффект дает организация местных и общих укрытий (кожухов, зонтов и т.п.) для технологического оборудования, мест перегрузок, дозировок и транспортировок. Так, при наличии укрытий у грохотов запыленность не превышает 20-150 мг/м³, а при открытых грохотах и сухих породах она достигает 800-1000 мг/м³. В целом тщательная герметизация укрытий гарантирует устранение 80-90% выбросов.

Пыль, осевшую на перекрытиях и оборудовании, необходимо регулярно убирать механическим способом. Уборка на рабочих местах осуществляется ежедневно.

Эффективным методом пылеподавления является увлажнение. Например, повышение влажности шамотного порошка с 0,2 до 4% уменьшает пылеобразование в 58 раз, увеличение влажности сухих кварцитов на 1-2% снижает его в 9-10 раз. Обычная эффективность этой операции составляет 60-80%. В тех случаях, когда пыль не смачивается водой, используют жидкости с добавлением ПАВ. Смачиватели должны удовлетворять определенным условиям: быть безвредными, хорошо растворяться в воде при жесткости до 35°, не реагировать с кислотами и щелочами, давать эффект при небольшой концентрации (до 0,1%), не вызывать коррозии металла. Они должны быть также устойчивыми во времени и при изменении температуры от 0 до 45°C, транспорtableбными, не иметь неприятных запахов.

Смачиватели подразделяют на ионогенные и неионогенные. Наиболее эффективны неионогенные смачиватели ДБ, представляющие темно-коричневую жидкость, растворимую в воде любой жесткости. Эффективны также ионогенные смачиватели ОП-7 и ОП-10 — маслообразные вязкие жидкости коричневого цвета, хорошо растворимые в воде, но имеющие гнилостный запах. На практике часто применяют комбинированные смачиватели — 0,05-0,1%-ю смесь ДБ и ОП-10 с добавлением к раствору в качестве пептизатора 0,25%-го раствора сульфит-целлюлозного щелока или сульфитно-спиртовой барды. Используют также мыло, мылонафт, сульфанол, чекаль и т.п.

Из других мер устранения или снижения запыленности можно отметить подвод чистого воздуха к рабочим местам и отвод загрязненного, создание эффективной аспирации, минимально возможную скорость движения воздуха в рабочих помещениях. В частности, на рабочих местах асбестовых фабрик последняя не превышает 0,5 м/с, а в общем случае не должна составлять более 2 м/с.

3.2.2. Основные свойства пыли

Для процессов пылеулавливания весьма важны дисперсность (фракционный состав), плотность, смачиваемость, адгезионные, электрические и другие свойства частиц. Для правильного выбора пылеулавливающей аппаратуры необходимо прежде всего знать их дисперсионный состав.

По степени дисперсности пыли обычно разделяют на группы, диапазон линейных размеров которых в различных классификациях не совпадает. В целом можно выделить пять фракций пыли: I — очень грубая (более 200 мкм), II — грубая (70-200 мкм), III — средняя (10-70 мкм), IV — тонкая (1-10 мкм), V — очень тонкая (менее 1 мкм).

Фракцией называют массовую долю частиц, размеры которых находятся в интервале значений, взятых в качестве нижнего и верхнего пределов.

Важная технологическая характеристика частиц пыли — плотность (истинная, кажущаяся, насыпная).

Истинная плотность частицы — это отношение ее массы к объему за вычетом объема открытых пор.

Кажущаяся плотность — отношение массы частицы к объему.

Насыпная плотность — отношение массы пыли в слое к ее объему. Отметим, что в значительной степени она определяется дисперсностью частиц. С увеличением последней насыпная масса пыли уменьшается. Для грубой пыли она составляет обычно 0,4-0,6 от истинной

плотности. Цинковые и свинцовые возгоны цветной металлургии с размерами частиц 0,3-0,5 мкм могут иметь насыпную массу, составляющую только 0,1-0,05 от истинной плотности. Насыпная плотность слежавшихся пылей примерно в 1,2-1,5 раза выше, чем свежееобразованных. Последние содержат большее количество адсорбированных примесей, сообщающих частицам одноименный электрический заряд, мешающий их сближению.

Знание величин насыпной плотности необходимо для инженерных расчетов объемов бункеров и других емкостей, в которых улавливают или складывают пыли.

Электрический заряд того или иного знака частицы приобретают в зависимости от способа получения и химической природы. Положительный заряд имеют, например, крахмал, мелкие частицы почвы, песок, туманы крепких кислот, уголь, хлористый натрий, отрицательный — мука, оксиды железа, магнезия, свинца, цинка. Число элементарных зарядов на одной частице составляет 10^4 - 10^5 с общим модулем потенциала напряжения 60-350 В.

Адгезионные свойства пыли определяют ее слипаемость, которая увеличивается с возрастанием степени дисперсности частиц. Практически все пыли IV и V группы дисперсности относятся к слипающимся, II и III групп — к среднеслипающимся, I группы — к малослипающимся. Слипание пылей существенно возрастает при их увлажнении.

Смачиваемость частиц в значительной степени определяет эффективность работы мокрых пылеуловителей, которая возрастает при ее увеличении.

3.2.3. Физические принципы и параметры пылеулавливания

Многочисленные конструкции аппаратов пылеулавливания, применяемых в настоящее время, покоятся на нескольких основных физических принципах, излагаемых далее.

Осаждение под влиянием силы тяжести. По этому принципу работают пылевые камеры, газоходы, инерционные пылеуловители. Устройства такого типа обычно эффективны при улавливании грубых частиц размером 50 мкм и более.

Осаждение под действием центробежной силы. Эта сила может быть значительно больше силы тяжести. В пылеуловителях, основанных на данном принципе, газу обычно сообщают вращательное движение при тангенциальном вводе его в аппараты круглого сечения (в

плане), называемые *циклонами*. Они эффективны при улавливании частиц размером 5-10 мкм и более.

Фильтрация запыленного газа через ткань или другую пористую перегородку — надежный способ улавливания очень тонких пылей.

Электростатическое осаждение используют в электрофильтрах. Подобная очистка основана на свойстве частиц пыли заряжаться в интенсивном электрическом поле, создаваемом вокруг электрода подведенным к нему постоянным током высокого напряжения (50-90 кВ). Электрофильтры используют для улавливания более мелких, чем в циклонах, пылей, включая ультратонкие (порядка 0,1 мкм).

Промыватели. Частицы задерживают на каплях и пленках промывающих жидкостей. Как и фильтры, они эффективны при улавливании очень тонких пылей.

Перечисленные принципы позволяют разделить способы пылеулавливания на *сухие* и *мокрые* (сухие и мокрые пылеуловители).

Процесс очистки газов от аэрозолей, независимо от способа улавливания, характеризуется несколькими основными параметрами: степень очистки, гидравлическое сопротивление аппарата, расход электроэнергии, стоимость аппарата и стоимость очистки.

Степень очистки η в единичном аппарате:

$$\eta = \frac{(C_{ВХ} - C_{ВЫХ})}{C_{ВХ}}, \quad (3.1)$$

где $C_{ВХ}$ и $C_{ВЫХ}$ — массовые концентрации примесей в газе соответственно до и после пылеуловителя.

Если очистку ведут в системе последовательно соединенных аппаратов, то *общая степень очистки*

$$\eta_B = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n), \quad (3.2)$$

где $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ — степень очистки первого, второго, ...n-го аппаратов.

Различают *общую* и *фракционную* степени очистки газов, которые относят соответственно ко всей массе частиц и к каждой фракции отдельно.

Гидравлическое сопротивление аппарата — разность давлений газового потока на входе и выходе из пылеуловителя.

Расход электроэнергии, стоимость аппарата (капитальные затраты) и очистки относят обычно на 1000 м^3 очищенного газа.

3.2.4. Пылеочистительная аппаратура

Как уже отмечалось, все способы пылеулавливания можно разделить на *сухие* и *мокрые*. Оборудование для сухого улавливания вклю-

чают пылеосадительные устройства, пылеуловители центробежного действия, фильтры, электрофильтры. К оборудованию для мокрого улавливания пыли относят скрубберы различных типов, барботажные аппараты, скоростные пылеуловители и др. Все пылеуловители делят на пять классов в зависимости от крупности пыли, для очистки от которой они предназначены (по нижнему пределу ее крупности):

Класс пылеуловителей	I	II	III	IV	V
Размер улавливаемых частиц, мкм	0,3	2	4	8	20

3.2.4.1. Пылеосадительные устройства

К пылеосадительным устройствам относят аппараты, в которых улавливание твердых частиц происходит под влиянием силы тяжести, т.е. пылеосадительные камеры и инерционные пылеуловители (рис. 3.1-3.3).

Пылеосадительные камеры представляют собой металлическую или железобетонную емкость прямоугольного сечения, площадь которой в несколько раз больше площади газоподводящего трубопровода. Из-за резкого уменьшения скорости потока в камере (до 0,2-1,5 м/с) взвешенные частицы, обычно крупностью более 50 мкм, в значительной степени успевают осесть на ее дно. Степень очистки в камерах в зависимости от дисперсности пыли достигает 40-90%. Для ее повышения камеры оборудуют специальными приспособлениями (перегородки, подвешенные цепи, проволока и т.п.), разбивающими поток входящего газа, улучшающими распределение его струй и прижимающими их к низу камеры (рис. 3.1).

Применение камер целесообразно при: горизонтальных или наклонных газоотводах большого сечения, когда подсоединение более эффективной аппаратуры пылеулавливания затруднено; повышенной запыленности газов (несколько сотен граммов на 1 м³) как предварительной ступени очистки; повышенной температуре отходящих газов (600-1300°С), содержащих размягченные и слипающиеся крупные частицы, которые на пути движения по камере охлаждаются и становятся сыпучими.

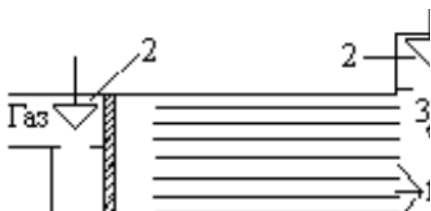


Рис. 3.1. Пылевая камера с горизонтальными полками:
1 — полки; 2 — колокольчатые затворы; 3 — лопы для удаления пыли

Содержащих размягченные и слипающиеся крупные частицы, которые на пути движения по камере охлаждаются и становятся сыпучими.

Во многих случаях пылевые камеры, устанавливаемые за технологическими агрегатами, например металлургическими, из которых выходят газы с температурой свыше 600°C , заменяют котлами-утилизаторами или камерами испарительного охлаждения. Те и другие с точки зрения пылеулавливания также являются пылевыми камерами.

Во многих случаях в качестве камер используют просто расширенные газоходы, степень очистки в которых составляет 10-20%, иногда до 35%.

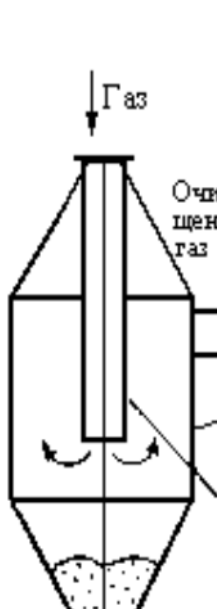


Рис. 3.2. Радиальный пылеуловитель:

- 1 — корпус;
- 2 — входная труба

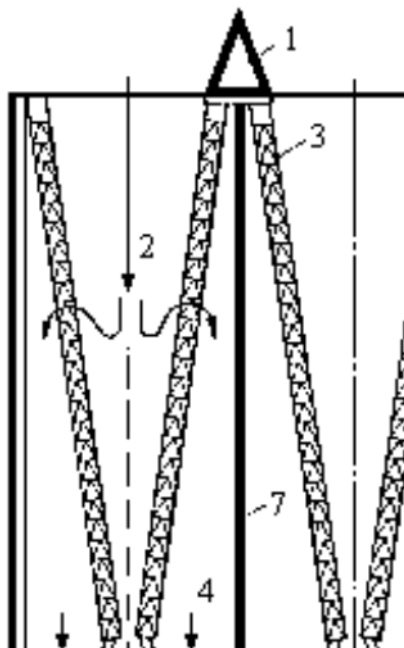


Рис. 3.3. Вертикальный жалюзийный пылеотделитель:

- 1 — защитная призма соединительного узла;
- 2 — направление движения запыленных газов;
- 3 — уголки;
- 4 — направление движения очищенных газов;
- 5 — пылесборник;
- 6 — стенки газохода;
- 7 — перегородка

Инерционные пылеуловители, основываясь на принципе пылеосаждения под влиянием силы тяжести, включают дополнительный элемент, увеличивающий степень пылеулавливания, — изменение направления га-

зового потока. К этому типу устройств относятся радиальные пылеуловители (пылевые мешки) и жалюзийные пылеуловители различного вида.

Радиальные пылеуловители обычно устанавливаются за агрегатами, имеющими вертикальные газоотводы типа «гусиная шея», например за шахтными печами и печами «КС», располагая по нисходящей ветви газопровода. Газ поступает в мешок сверху, а отводится сбоку, пыль по инерции в значительной степени продолжает движение в низ мешка, где скапливается и периодически выпускается через разгрузочное устройство. Эффект очистки газа от частиц размером 25-30 мкм обычно составляет 0,65-0,85.

Жалюзийные пылеуловители известны в вертикальном и горизонтальном исполнениях. В первом случае в вертикальном газоходе устанавливают несколько рядов уголков, которые соединяют призмой. Запыленные газы, проходя через уголковые жалюзи, изменяют направление движения. При этом пыль по инерции попадает в пылесборник, а очищаемые газы уходят далее по газовому тракту. Преимуществом ЖУП: малые габариты, возможность установки внутри газоходов, простота конструкции и обслуживания, относительно небольшое сопротивление. ЖУП обеспечивают очистку на уровне 80% для частиц размером более 20 мкм и применяются для дымовых газов с температурой до 450-600°C и скоростью 15-25 м/с на подходе к решетке.

Созданы также жалюзийно-магнитные сепараторы (Сандуляк...).

3.2.4.2. Пылеуловители центробежного действия

Пылеуловители центробежного действия включают циклоны, аппараты ротационного и вихревого типов. Наиболее известны циклоны, получившие широкое распространение в технике пылеулавливания.

По форме корпуса циклоны разделяют на цилиндрические и конические. Их устройство в принципе одинаково.

Газовый поток вводится в циклон (рис. 3.4) через патрубок 2 по касательной к внутренней поверхности корпуса 1 и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру 4. Частицы пыли центробежной силой отбрасываются к стенке циклона, теряют скорость, падают в коническую часть аппарата, откуда разгружаются в находящийся внизу бункер. Газы, освободившиеся от пыли, удаляются через центральную отводящую трубу 3. Их обычная скорость на входе составляет 10-25 м/с, на выходе — 4-6 м/с. Для нормальной работы циклона необходимы герметичные бункера. При нарушении герметичности и подсосе наружного воздуха повышается вынос пыли через отводящую трубу.

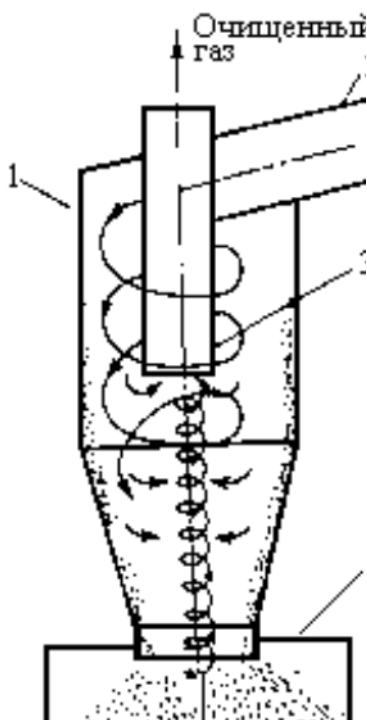


Рис. 3.4. Цилиндрический циклон

углеродистой стали, при температурах до 800°C — из жароупорной. Для более высоких рабочих температур аппараты футеруют, выхлопные трубы выполняют цельнокерамическими или водоохлаждаемыми. Созданы также циклоны с футеровкой из каменного литья, обладающие, помимо термостойкости, высокой абразивной устойчивостью.

Циклоны серии ЦН относятся обычно к пылеуловителям V класса, рассчитанным на I, II группы пылей с их входной концентрацией до 1000 г/м^3 , имеют производительность по газу до 48 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ при гидравлическом сопротивлении не более 2,5 кПа. Гидравлическое сопротивление конических циклонов СК-ЦН достигает 4 кПа. Коэффициент полезного действия цилиндрических циклонов обычно составляет 70-90%, конических — до 95%. Он сильно зависит от крупности частиц пыли. С помощью этих аппаратов успешно улавливают слаби- и среднеслипающиеся грубо- и среднедисперсные пыли.

Наиболее распространенными типами циклонов являются цилиндрические диаметром 200-3600 мм, работающие при избыточном давлении до 2,5 кПа (ЦН-2, ЦН-15, ЦН-24 и др.). Здесь цифры в скобках — величина угла патрубка на входе в циклон по отношению к горизонтальной плоскости. Используют также конические циклоны НИИО-ГАЗа. Они имеют повышенное гидравлическое сопротивление при более высокой степени очистки. Конические циклоны серии СК (СК-ЦН-33, СК-ЦН-34 и др.) успешно применяют для очистки газов от сажи. Наряду с циклонами НИИОГАЗа в цветной металлургии используют близкие по эффективности циклоны типа СИОТ диаметром до 4350 мм, устанавливая их, в частности, для очистки газов печей КС. В целом циклоны пригодны для разнообразных условий работы, в том числе при сравнительно высоких температурах.

Материалы корпуса циклона подбирают в зависимости от температурного режима его эксплуатации. Для 600°C корпус изготавливают из

Циклоны обычно не используют как конечные пылеуловители. В этом качестве они могут применяться только при пылях, содержащих незначительное количество частиц размером менее 10 мкм, при условии их выброса в атмосферу на значительной высоте. Циклоны рекомендуются использовать для предварительной очистки газов, устанавливая их перед фильтрами или перед электрофильтрами.

Степень очистки газа в существенной степени зависит от диаметра циклона. При его меньших значениях очистка протекает полнее, но уменьшается производительность. Поэтому для улавливания более мелких частиц применяют групповые и батарейные циклоны (мультициклоны), состоящие из параллельного ряда небольших циклонов. Конструктивно они объединяются в один корпус и имеют общие подвод, отвод газов и разгрузочный бункер. Групповые циклоны включают 2, 4, 6, 8 циклонов диаметром от 200 до 1100 м. Батарейные циклоны наиболее распространенного типа (БЦ-2) насчитывают до нескольких сотен мультициклонов диаметром 100-400 мм. Степень очистки газов в них можно довести до 80-98%.

3.2.4.3. Фильтры

Фильтры используют для тонкого пылеулавливания (размер частиц до 0,05 мкм) и когда затруднено применение электрофильтров. Имеются в виду случаи малого и слишком высокого электросопротивления частиц пыли или необходимость специальной подготовки газов для электрофильтра, например их дожигание. Однако электрофильтры обладают неоспоримым преимуществом при пылеочистке агрессивных газов, если температура последних близка к точке росы, т.е. реальна опасность выпадения конденсата на материал фильтра.

Фильтры классифицируют по типу и материалу фильтровальной перегородки, конструкции, назначению и другим признакам.

По типу перегородки различают фильтры: с зернистыми слоями (неподвижные свободно насыпанные зернистые материалы или псевдоожиженные слои); с гибкими пористыми перегородками (ткани, войлоки, волокнистые маты, губчатая резина, полиуретан и др.); с полужесткими пористыми перегородками (вязаные тканые сетки, прессованные спирали, стружка и т.п.); с жесткими пористыми перегородками (пористые керамика и металлы).

Зернистые фильтры состоят из частиц различной формы, чаще — гравия. Их используют для очистки газов от крупных механических примесей (от дробилок, грохотов, сушилок, мельниц). Толщина гравийного слоя составляет 100-150 мм при крупности частиц 30-50 мм.

Зернистые фильтры дешевы, просты в эксплуатации и обеспечивают 99%-ю степень улавливания грубодисперсных пылей.

Для изготовления фильтров широко используют различные *натуральные ткани* (хлопчатобумажные, шерстяные): ситец, бязь (толщина 0,2 мм), фильтровальное сукно № 2 (толщина 1,5 мм), техническое сукно ЦМ, байку с 40% капрона. Рабочая температура хлопчатобумажных тканей составляет 60°C, они нестойки в кислых средах. Для сукна допустима более высокая температура отходящих газов (65-85°C). Срок службы тканей при улавливании пылей цветной металлургии составляет 0,5-1,0 год.

Синтетические материалы часто применяют в виде нетканых волокнистых слоев (войлоков) с хаотическим расположением волокон. Тонкость и эффективность очистки войлоком выше, чем ткаными фильтрами, изготовленными из нитей того же диаметра. Используют синтетические материалы — все толщиной порядка 1,5 мм, с температурой эксплуатации 90-250°C. Они более устойчивы в кислых и щелочных средах, чем натуральные.

Основные параметры процесса пылеулавливания при использовании натуральных и синтетических волокон обычно следующие: входная концентрация пыли 20-50 г/м³, гидравлическое сопротивление фильтров 1-3 кПа, степень очистки 0,97-0,997.

Большей термо- и химической стойкостью, чем натуральные и синтетические тканевые материалы, обладает *стекловолокно*. Его рабочая температура составляет 200-250°C, оно кислотостойко, однако плохо работает на изгиб. Диаметр стекловолокна равен 8-10 мкм, толщина ткани — 0,25-0,90 мм. Срок службы стекловолокна и синтетики — 2-4 года.

Одним из распространенных фильтровальных материалов является *проволочная сетка* из низко- или высоколегированных сталей, меди, латуни, бронзы, никеля и других металлов. Такие сетки могут работать при температуре до 500°C, включая агрессивные среды. Однако они уступают фильтрующим элементам из тканей и войлока по тонкости очистки (15 мкм при однослойной сетке).

В последние годы все технически развитые страны ведут работы по созданию фильтрующих элементов из *пористых керамических и металлических материалов*. Эти элементы прочны и коррозионноустойчивы, работают при температурах 300-900°C, их пористость составляет 85%. Частицы размером более 3 мкм из очищенного потока выделяют практически полностью, а при размере свыше 0,25 мкм — на 99,2%. В ФРГ освоен выпуск промышленного модуля, имеющего металлические элементы общей площадью 7 м². Он предназначен для очистки газов с температурой до 850°C и с концентрацией пыли до 35 г/м³ при надежности работы в течение более 3 тыс. ч (Раб...; Filtration...).

По конструктивному оформлению фильтры делят на ячейковые (рамочные, патронные и каркасные), рулонные и рукавные (мешочные).

Ячейковые и рукавные фильтры относят к первому классу пылеуловителей и применяют для ультратонкой очистки технологических и вентиляционных выбросов радиоактивных, биологических и высокотоксичных пылей. Эти фильтры снаряжают материалами типа ФП, представляющими собой нанесенные на марлевую подложку слои синтетических волокон диаметром 1-2 мкм (перхлорвинил — ФПП, фторполимеры — ФПФ и др.). Во всех случаях ультратонкой очистки применяют предфильтры (ткани, войлоки) для улавливания частиц крупностью 1 мкм и снижения концентрации примерно до $0,5 \text{ мг/м}^3$.

В настоящее время разработан ряд фильтров рамочной конструкции с производительностью до $3,5 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ и степенью очистки $0,999$ (при входной концентрации пыли $0,5 \text{ мг/м}^3$).

Ячейковые элементы имеют ограниченный срок службы из-за быстрого засорения фильтровальных элементов, что требует их частой замены и регенерации. Этот недостаток частично устраняется при использовании рулонных фильтров, которые применяют для очистки воздуха с концентрацией примесей не более 10 мг/м^3 .

Рулонный фильтр представляет собой корпус, в верхней части которого размещена катушка с намотанным на нее чистым фильтровальным материалом в виде мата. Он перемещается через проем для прохода воздуха и периодически наматывается на нижнюю катушку по мере забивания материала пылью и достижения заданного гидравлического сопротивления проходу воздуха. Перемещение происходит на длину, соответствующую размеру проема для входа воздуха в фильтр, составляя примерно 50 см/мин . Фильтровальным материалом служат маты из стекловолна (в виде рулонов диаметром 300 мм , длиной 20 м и толщиной 50 мм). Гидравлическое сопротивление рулонных фильтров равно $100\text{-}150 \text{ Па}$.

За рубежом (Швейцария) для электронной промышленности разработаны установки ультратонкой очистки воздуха, включающей 3-4 ее ступени. Степень улавливания финишных фильтров — до $99,99995\%$ частиц с размером $0,1 \text{ мкм}$ (Карнис...).

Наибольшее распространение в промышленности получили *рукавные фильтры*. Они обычно состоят из $10\text{-}20$ параллельно работающих секций с несколькими десятками рукавов в каждой из них. Запыленные газы поступают по общему для всех секций газопроводу в нижнюю бункерную часть фильтра, закрытую распределительной решеткой с отверстиями для прохода газа (по числу рукавов секции). Нижние открытые концы рукавов крепят при помощи патрубков в решетке. Запыленные газы попадают внутрь рукавов, фильтруются через ткань со скоро-

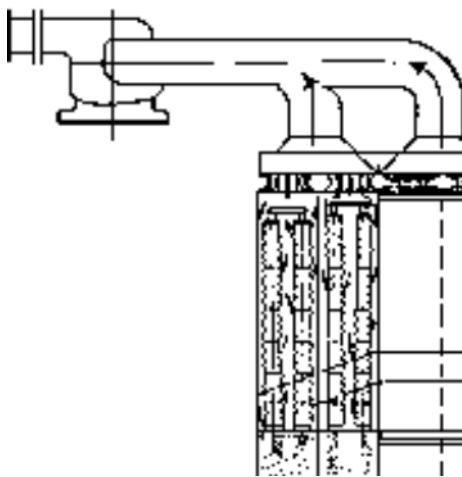


Рис. 3.5. Многосекционный рукавный фильтр с автоматическим встряхиванием и обратной продувкой ткани:

секция I во время работы;
секция II — в момент встряхивания и обратной продувки ткани

Для нормальной работы рукавных фильтров необходимо выдерживать оптимальную температуру отходящих газов. Она не может превышать максимально допустимую для данного типа ткани и одновременно должна быть выше точки росы газов на $15-30^{\circ}\text{C}$. При выпадении роса образует с осевшей пылью массу, заклеивающую поры ткани.

Промышленность России серийно выпускает рукавные фильтры II класса нескольких модификаций с допустимой входной концентрацией пыли $20-60 \text{ г/м}^3$, гидравлическим сопротивлением $2-3 \text{ кПа}$, производительностью по газу до $1 \text{ млн м}^3/\text{ч}$ и более, степенью очистки $0,98$. Фильтры предназначены для очистки от слабослипающихся пылей. Крупнейший из рукавных фильтров (Германия) содержит более 32 тыс. рукавов и имеет пропускную способность $\sim 4,5 \text{ млн м}^3/\text{ч}$. Площадь фильтрации больших аппаратов превышает 25 тыс. м^2 (Чекалов).

Промышленностью освоен также новый тип пылеулавливающего оборудования — цепные фильтры, первый серийный выпуск которых осуществлен Челябинским филиалом Росоргтехпрома. Они относятся к

стью порядка $0,6-1,0 \text{ м/мин}$, проходят через клапаны, отсасываются вентилятором и выбрасываются в атмосферу (рис. 3.5). Каждые $5-10$ мин одна из секций фильтра отключается, и в нее в направлении, обратном движению газового потока, подается под давлением воздух для продувки фильтровальной ткани при одновременном встряхивании рукавов специальным механизмом. Встряхивание и продувка длятся $30-50 \text{ с}$, затем секция автоматически включается в рабочее положение. Пыль ссыпается в бункер и шнеком через шлюзовую затвор выгружается из фильтра.

Для изготовления рукавов применяют различные ткани, войлоки, сетки, стекловолокно. Диаметр рукавов составляет $127-300 \text{ мм}$, длина их — до $9,6 \text{ м}$.

аппаратуре сухой очистки, работают под разрежением, пригодны для очистки газов от сильно слипающихся и склонных к схватыванию пылей с высоким (до 50 г/м^3) влагосодержанием (известковых, известково-кремнеземистых, цементных и др.), в крупности от 3 мкм и более. Эти фильтры применяют на предприятиях, производящих стройматериалы, в химической промышленности, машиностроении и т.д. В ряде случаев они позволяют отказаться от первой стадии очистки в циклонах и от тонкой очистки в рукавных фильтрах.

Конструктивно фильтр состоит из корпуса 6, имеющего две полости, в которые монтируются детали фильтрующих секций (рис. 3.6). В каждой полости расположена верхняя рама 5 с фильтрующим элементом 4, выполненным из калиброванных цепей, и нижняя рама 2, к которой по всему периметру приваривается сетка 1. Нижняя рама подвешена к верхней на цепях. Верхняя с помощью планки 7 и каната 8 соединяется с механизмом регенерации (позиции 10, 12, 13, 14, 16, 17). Этот механизм приводится в действие сжатым воздухом через пневмораспределители 9 и 15. Верхняя секция укрыта распределительным кожухом 11.

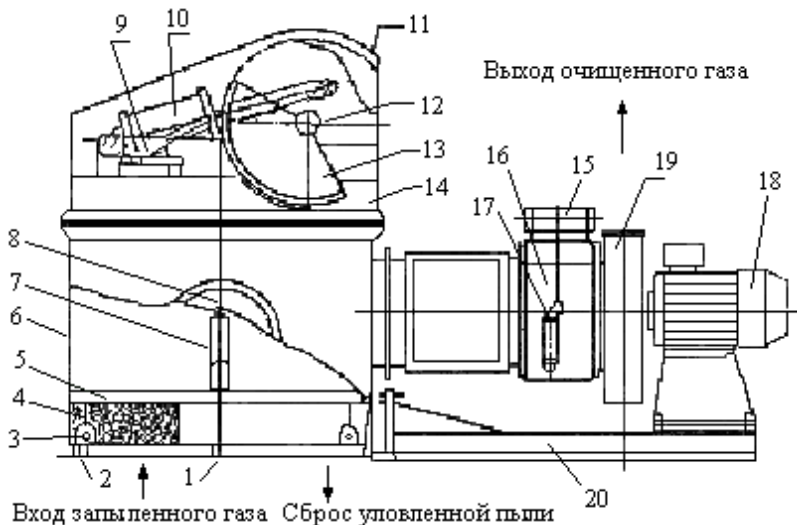


Рис. 3.6. Фильтр цепной ФЦ-2М с вентилятором:

1 — сетка; 2 — нижняя рама; 3 — проушины; 4 — фильтрующий элемент; 5 — верхняя рама; 6 — корпус; 7 — планка; 8 — канат; 9, 15 — пневмораспределители; 10, 17 — пневмоцилиндры; 11 — кожух; 12 — вал; 13 — секторы; 14 — верхняя секция; 16 — клапан; 18 — электродвигатель; 19 — вентилятор; 20 — кронштейн

Цепной фильтр может работать в режимах фильтрации и регенерации. В первом случае верхняя рама лежит на нижней. Очищаемый газ подается под нижнюю сетку и фильтруется через нее и сложенную цепь, удаляясь затем через клапан 16. В данном положении аппарат находится 1-99 мин. В режиме регенерации верхняя рама 5 поднимается на цепях 4 (фильтрующий элемент), увлекая за собой нижнюю раму 2 с закрепленной на ней проволочной сеткой 1. При этом рамы, совершая возвратно-поступательные движения, встряхиваются с частотой 15-18 мин⁻¹ и очищаются от пыли. Режим регенерации длится 1-2 мин.

Технические характеристики ФЦ-2М и других аналогичных модификаций: производительность по очищаемому газу 1-20 тыс. м³/ч, гидравлическое сопротивление не более 700 Па, степень очистки 95-98%.

Цепные фильтры отличаются от рукавных значительно более низкими эксплуатационными расходами и стоимостью, не требуют установки циклонов в качестве предварительной ступени очистки (Синельник...).

3.2.4.4. Электрофильтры

Электрофильтры — наиболее совершенные аппараты для обеспыливания. В зависимости от конкретных условий и требований, их конструируют на любую степень очистки газа (до 99,9%) и на широкий диапазон производительности — от единиц до нескольких миллионов кубометров в час. Электрофильтры работают как при атмосферном давлении, так и при давлениях выше и ниже его.

Концентрация взвешенных частиц на входе в электрофильтр может изменяться от нескольких долей до 60 г/м³ газа и более, а их температура достигать 500°C и выше. Реализована как сухая, так и мокрая очистка газов в очень широком диапазоне размеров частиц (0,01-100 мкм).

Электрофильтры выполняют из материалов, стойких к воздействию кислот, щелочей и других агрессивных веществ.

К недостаткам электрофильтров относится более высокая стоимость по сравнению с другим пылеулавливающим оборудованием, а также возможность воспламенения или взрыва горючих и взрывоопасных газовых смесей под воздействием электрического разряда.

Принцип очистки газов в электрофильтре основан на следующем (рис. 3.7). В металлической трубе или между пластинами (1) на изолирующей раме подвешены провода (2). От источника постоянного тока (выпрямленный переменный ток) к проводам подводят высокое напряжение (до 90 кВ), при этом им сообщают отрицательный заряд. Эти провода называют коронирующими электродами. Трубы или пластины заряжают положительно. Их называют осадительными электродами. Осадительные электроды заземляют, а отрицательные — изолируют.

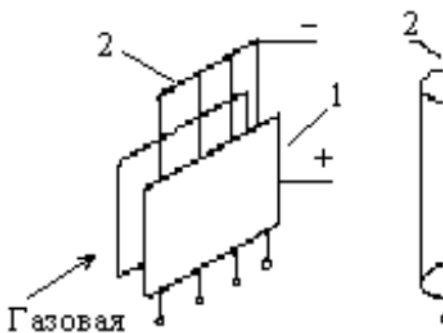


Рис. 3.7. Схема электрофильтра

Проходя по трубе или между пластинами, газы ионизируются. Ионы и электроны сталкиваются с частицами пыли и передают им свой заряд. Время зарядки аэрозольных частиц невелико и измеряется долями секунды. Поскольку наибольшая интенсивность электрического поля (плотность силовых линий) создается у коронирующего электрода с меньшей, чем у осадительного

электрода, поверхностью, то большинство частиц заряжается отрицательно и устремляется к стенкам трубы или пластинам. Небольшая доля частиц (с положительными зарядами) движется к коронирующему электроду. На электродах частицы теряют заряд и оседают. Если взвешенные частицы являются жидкостью, то после осаждения на электродах она с них стекает. Если улавливается сухая пыль, то осадительные электроды через определенный промежуток времени встряхивают, и она падает в бункера, из которых периодически удаляется.

То обстоятельство, что именно коронирующие электроды заряжают отрицательно, объясняется тем, что отрицательно заряженные частицы имеют скорость передвижения в 1,37 раза большую, чем положительно заряженные, и производительность электрофильтра таким образом повышается.

В целом работа электрофильтра основана на так называемом *коронном разряде*, возникающем в неоднородном электрическом поле. При этом типе разряда полная (ударная) ионизация газа инициируется лишь у коронирующего электрода, где напряженность электрического поля является максимальной. Внешним проявлением коронного разряда служат голубовато-фиолетовое свечение вокруг провода, негромкое потрескивание, запахи озона и оксидов азота. При этом через разделенный электродами промежуток протекает электрический ток — *ток короны*. При повышении напряжения выше допустимого или увеличении по каким-либо причинам электропроводности газов, поступающих в электрофильтр, вместо коронного разряда возникает искровой или дуговой электрический разряды, т.е. наступает *пробой* межэлектродного промежутка.

По типу осадительных электродов электрофильтры делят на пластинчатые и трубчатые.

Пластинчатые электрофильтры представляют собой камеру, в которой установлены осадительные электроды, выполненные из пластин

гладкой, волнистой или коробчатой стали, свинца, алюминия или железа, расположенных на расстоянии 250-300 мм друг от друга. Волнистость или коробчатость электродов увеличивают их поверхность, уменьшают приповерхностную скорость движения газов, снижая возможность срыва и уноса осевшей пыли. Иногда пластины заменяют рядами свободно висящих прутков диаметром 6-8 мм с расстоянием между ними 20-30 мм. Такой тип электродов используют в электрофильтрах, улавливающих трудно отряхиваемую пыль и работающих при высоких температурах. На середине расстояния между осадительными электродами подвешивают коронирующие электроды из тех же материалов.

Трубчатые, или сотовые, электрофильтры представляют собой группу вертикально установленных труб (круглых или шестигранных), в центре которых подвешены электроды. Трубы изготавливают из железа, нержавеющей стали, иногда чугуна, диаметром 200-300 мм, длиной 2-4 м, с толщиной стенки 3-6 мм. Коронирующие электроды выполнены из никромовой или стальной оцинкованной проволоки диаметром 1-5 мм и укрепляют их на общей раме. Каждая проволока натягивается грузом массой до 2 кг.

Пластинчатые электрофильтры используют для улавливания как жидких, так и твердых частиц. Электрическое поле в них несколько слабее, чем в трубчатых, и они работают при меньшей скорости газа, однако проще в изготовлении, а их электроды встряхиваются гораздо легче.

Трубчатые электрофильтры применяют преимущественно для очистки жидких капель, но есть конструкции и для улавливания твердых частиц.

В зависимости от того, как движется поступающий на очистку газ (горизонтально или вертикально), различают *вертикальные* или *горизонтальные* электрофильтры.

Для более глубокой очистки газ обычно пропускают вдоль нескольких групп осадительных электродов, каждая из которых образует свое электрическое поле. Такие электрофильтры называют *многопольными*.

Обычно электрофильтры выполняют секционированными, т.е. в виде нескольких параллельно расположенных одинаковых секций, что дает возможность отключать часть аппаратов для осмотра, чистки и регулирования. Скорость движения газов составляет в пластинчатых электрофильтрах 0,3-0,5 м/с, в трубчатых — 1 м/с.

Электрофильтры в зависимости от температуры газов, на которых они работают (выше или ниже точки росы), делят на сухие и мокрые.

Сухими называют электрофильтры, эксплуатируемые при температурах выше точки росы, *мокрые* электрофильтры применяют на газах при температуре ниже точки росы. В сухих электрофильтрах частицы

оседают в виде пыли, в мокрых они улавливаются вместе с конденсированной жидкостью в виде шлама.

Применение сухого пылеулавливания не требует расхода воды на смыв пыли, но неэффективно при улавливании частиц с высокой (сопротивление до 10^3 или 10^4 Ом·см) или низкой (сопротивление выше 10^{10} Ом·см) проводимостью.

В случае высокопроводящих частиц, например сажи, они быстро перезаряжаются на осадительных электродах и, еще не успев закрепиться на них, отталкиваются от их поверхности и увлекаются выходящим газовым потоком. Пыли с высоким электрическим сопротивлением (возгоны оксида цинка) затрудняют или вовсе могут погасить коронный разряд. Для частичного устранения этого недостатка газы сухих электрофильтров увлажняют до 40-90% относительной влажности, что улучшает проводимость частиц и увеличивает полноту их осаждения на электродах.

Мокрые электрофильтры могут обеспечить практически любую степень улавливания любого типа пылей. Однако они требуют большого расхода воды, возникают затруднения в поддержании чистоты электродов при образовании на них шламов, которые необходимо удалять частой промывкой при снятом напряжении. Особые затруднения возникают при схватывающихся шламах.

При необходимости охлаждения газа и доведения его температуры до точки росы перед мокрыми электрофильтрами ставят мокрые пылеуловители — скрубберы. Иногда оба аппарата komponуют в единый агрегат (скруббер-электрофильтр), что исключает применение газоходов и улучшает распределение газа по сечению электрофильтра.

В промышленности используют множество конструкций электрофильтров, относящихся в основном ко второму классу пылеулавливающих аппаратов.

Сухие электрофильтры типа УГМ (унифицированные горизонтальные малогабаритные) рекомендуется применять для тонкой очистки технологических газов от пыли различных видов. Их производительность составляет 36-950 тыс. м³/ч, допустимая входная концентрация пыли 60 г/м³, гидравлическое сопротивление 4 кПа, наибольшая температура газов 250°С, степень очистки до 0,999.

Мокрые электрофильтры типа С предназначены для тонкой очистки генераторных газов от смоляных аэрозолей. При производительности по газу 18-36 тыс. м³/ч, допустимой входной концентрации пыли 3 г/м³ и наибольшей температуре газов 60°С они имеют гидравлическое сопротивление 5 кПа при степени очистки до 0,99.

Для очистки выбросов вентиляционных устройств с малой концентрацией загрязнений применяют двухзонные пластинчатые электро-

фильтры типа ФЭ, РИОН и др. В них ионизацию и осаждение пыли производят в разных последовательно расположенных полях, затем пропускают воздух через противоуносные фильтры. Накопленная пыль периодически смывается водой. Ионизатор выполняют так, чтобы при скорости 2 м/с частицы пыли успели зарядиться, но еще не осели на электроды. Последнее происходит в поле осадителя на пластинах противоположной полярности. Выбором расстояния между пластинами (6-7 мм) удается при сравнительно небольшом напряжении между ними (7 кВ) получить напряженность 80-100 В/м, достаточную для осаждения частиц субмикронных размеров.

Электрофильтры типа ФЭ рассчитаны на производительность 1 тыс. м³/ч при входной концентрации пыли 0,001 г/м³, гидравлическом сопротивлении 0,03-0,05 кПа и степени очистки 0,95 при наибольшей температуре газов 20°С.

Во многих случаях для облегчения работы электрофильтров перед ними устанавливают так называемую грубую пылеочистку, чаще всего циклоны или батарейные циклоны.

3.2.4.5. Мокрые пылеуловители

Аппараты мокрой очистки газов получили широкое распространение, так как обеспечивают высокую степень улавливания мелкодисперсной пыли с диаметром, равным или большим 0,3-1,0 мкм, а также пригодны для работы на горячих и взрывоопасных пылях. Однако они имеют ряд недостатков, ограничивающих область их применения: образование шлама, что требует его переработки и в ряде случаев мероприятий по предупреждению его схватывания и затвердевания; отложения в газоходах. Необходима также оборотная система подачи воды в пылеуловитель, так как сброс ее в неочищенном виде загрязняет окружающую среду и экономически неэффективен из-за значительного расхода жидкости.

В аппаратах мокрой очистки частицы осаждаются на поверхности капель, на пленке жидкости либо задерживаются в ее объеме. В связи с этим во всех вариантах мокрого пылеулавливания важнейшей характеристикой является смачиваемость частиц: чем она выше, тем эффективней процесс очистки.

Мокрые пылеуловители в значительной степени повторяют сухие и включают аппараты, работающие по принципу осаждения под влиянием силы тяжести, центробежных сил, электростатических. К осадительным конструкциям первого типа относятся простейшие оросительные устройства, скрубберы (безнасадочные и с насадкой), радиальные пылеуловители, к центробежным — мокрые циклоны, к электростатическим — мокрые электрофильтры. Имеются также мокрые пылеуло-

вители, основанные на принципах, не встречающихся в сухих аппаратах: барботажные и скоростные (турбулентные).

Простейшие оросительные устройства используют в тех случаях, когда требуется очистка небольших масс горячих газов от загрязнений с размером частиц более 15-20 мкм. Эти устройства выполняют в виде ряда форсунок, встроенных в газоход. Удельный расход воды в таких системах составляет 0,1-0,3 л/м³·ч, а скорость газового потока в целях исключения интенсивного каплеуноса не должна превышать 3 м/с.

Полые (безнасадочные) скрубберы, иногда называемые форсуночными, представляют собой вертикальные башни, через которые проходит газ, орошаемый водой. Воду распыляют форсунками, установленными вверху по сечению скруббера. Скорость газа в нем составляет 1-2 м/с, расход воды 3-6 л/м³·ч, гидравлическое сопротивление до 250 Па. Пыль, уловленная каплями распыленной жидкости, отстаивается и в виде шлама удаляется из системы. Осветленную жидкость вновь используют для орошения. Эффективность работы полого скруббера определяется степенью распыления и количеством подаваемой воды. Слишком мелкие ее капли уносятся газовым потоком, налипают на газоходах и ухудшают работу последующих пылеулавливающих аппаратов. Крупное распыление уменьшает поверхностную активность жидкости.

Полые скрубберы просты по устройству и дешевы. До недавнего времени полагали, что они недостаточно эффективны и оправдывают себя лишь при улавливании пыли крупностью 10 мкм и более, задерживаемой в них на 90%. На возгонах степень улавливания снижается до 30-60%. Эти сооружения обычно применяли для предварительного охлаждения газов и их очистки перед последующими аппаратами тонкого мокрого пылеулавливания (скоростные пылеуловители, мокрые электрофильтры).

Однако разработанный фирмой Фест-Альпине Индустрианлагенбау (Линц, Австрия) процесс Эрфайн (Airfine) очистки отходящих газов агломерационных и окомковательных фабрик вносит существенные изменения в установившиеся представления об эффективности использования полых скрубберов. В этом процессе применяются специально разработанные форсунки двойного потока. Подача в них сжатого воздуха обеспечивает тонкое распыление воды в охлаждаемых отходящих газах. Это приводит к отделению мельчайших частиц пыли (остаточная концентрация менее 30 мг/м³), удалению хлористого водорода (<2 мг/м³) и фтора (<1 мг/м³), диоксинов и фуранов (до 0,1 нг/м³ по токсическому эквиваленту), сокращению выбросов тяжелых металлов, низким затратам на последующую установку приставки для улавливания сернистых соединений. Скрубберную жидкость после очистки вновь используют, шламы возвращают на агломерацию. В 1993 г. про-

цесс Эрфайн впервые использован фирмой на ее металлургическом заводе в Линце. Он официально признан лучшей существующей технологией по очистке отходящих газов и улавливаю мелких (<1 мкм) частиц (Геберт...; Новая...).

Дальнейшим усовершенствованием очистки газов в полом скруббере является процесс Ветфайн (Wetfine). Его основное отличие от Эрфайн заключается в замене форсунки двойного потока мокрым электро-фильтром. Первую установку Ветфайн должны были смонтировать на заводе Луккини Сервола в Италии в 2002 г. (Новая...).

Скрубберы с насадками используют для создания большой поверхности соприкосновения газа с жидкостью. В качестве насадки применяют керамические или фарфоровые кольца (высота и диаметр 15-150 мм, толщина стенок 2-15 мм), укладываемые несколькими слоями с общей высотой 1-3 м. В этом же качестве пригодны деревянные рейки. Чтобы не ухудшать работу скрубберов, необходимо орошать всю поверхность насадки, смывая образующуюся пульпу. Гидравлическое сопротивление этих конструкций 300-800 Па, степень очистки 90-98%.

Радиальные аппараты ударно-инерционного действия аналогичны по устройству радиальным сухим пылеуловителям (рис. 3.2), однако в их нижней части находится жидкость. Твердые частицы после выхода потока из сопла не успевают за поворотом газовых частиц и по инерции попадают на поверхность жидкости. В аппаратах хорошо улавливаются загрязнения диаметром более 20 мкм. Основное преимущество ударно-инерционных пылеуловителей — небольшой расход воды, составляющий 0,03 л/м³ и менее, который обусловлен только испарением и потерей жидкости со шламом. Эффект очистки в значительной степени зависит от расстояния между срезом сопла и зеркалом жидкости.

Мокрые циклоны устанавливают в тех случаях, когда выходящий из мокрых пылеуловителей газ не должен содержать влаги. Одновременно с пылью мокрый циклон задерживает и капли жидкости. В нем, в отличие от сухого циклона, тангенциальный ввод газа расположен в нижней части корпуса, а сверху устанавливают сопла для подачи жидкости на его стенки и образования на них водяной пленки толщиной не менее 0,3 мм. Оседающие пылинки смывают в бункер, откуда пульпу затем разгружают.

Циклоны имеют диаметр цилиндрической части 600-1500 мм, высоту орошаемой части в 5 раз большую, чем диаметр, высоту над уровнем сопел 1500 мм. Скорость газа во входном отверстии циклона составляет 16-23 м/с, в самом аппарате — 4-5 м/с. При более высокой скорости газа мелкие брызги жидкости уносятся. Скорость истечения воды из сопел равна 1-2 м/с, ее расход на орошение стенок —

около $0,07-0,13 \text{ л/м}^3$ газа. Сопротивление мокрого циклона достигает $0,5-0,8 \text{ кПа}$, производительность по газу — до $20 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$.

При входной запыленности газового потока $\leq 20 \text{ г/м}^3$ степень улавливания частиц диаметром $10-20 \text{ мкм}$ составляет $0,93-0,995$, для частиц крупностью $0,5-2 \text{ мкм}$ она снижается до $0,8-0,9$.

Получили некоторое распространение вихревые технологии систем очистки уходящих газов. Их действие основано на использовании вращающихся газожидкостных систем, формирующихся в вихревых камерах. Такие процессы называют центробежным барботажем, а аппараты — центробежно-барботажными (ЦБА). Последние более эффективны, чем мокрые циклоны и барботажно-пенные пылеуловители (Вихревые...).

Барботеры — это аппараты, в которых газ проходит через слой жидкости в пузырьковом режиме, что обеспечивает большую площадь соприкосновения газожидких фаз. Барботеры разделяют на устройства с провальной (рис. 3.8, а) и переливной (рис. 3.8, б) решетками.

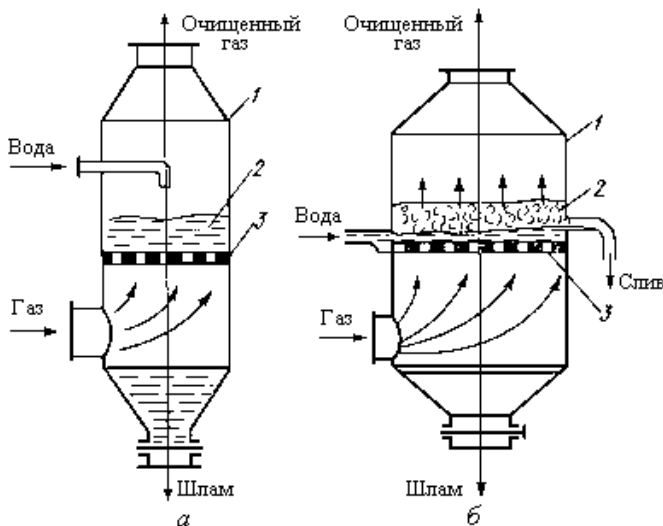


Рис. 3.8. Барботажно-пенный пылеуловитель с провальной (а) и переливной (б) решетками:

1 — корпус; 2 — пенно-жидкостный слой; 3 — решетка

На решетку, установленную горизонтально или с некоторым наклоном, подается жидкость, часть которой протекает через круглые или щелевые отверстия решетки («проваливается»), а другая, двигаясь вдоль нее, сливается через порог в специальное приемное устройство (карман).

Общая площадь отверстий равна 10-20% всей площади решетки. Газ поступает под решетку, проходит через отверстия в ней размером 4-7 мм и барботирует через слой жидкости высотой до 100 мм, очищаясь от пыли. Скорость движения газа составляет около 1 м/с.

Часто барботеры эксплуатируют при более высоких скоростях движения газа (до 2,5-3,0 м/с), что приводит к изменению режима их работы. Жидкость превращается в устойчивую пену с увеличением объема в несколько раз. Высоту слоя жидкости поддерживают обычно на уровне 30-60 мм, что дает пену высотой 100-250 мм. В некоторых случаях аппараты этого типа изготавливают с несколькими полками, принуждая газ проходить через ряд слоев пены.

Современные барботажно-пенные устройства обеспечивают 90-95%-ю степень очистки газа от твердых частиц диаметром 3-5 мкм и более при удельном расходе воды 0,4-0,5 л/м³.

Недостаток барботажно-пенных аппаратов — их высокая чувствительность к неравномерной подаче газа под провальную решетку, затрудняющей поддержание постоянного устойчивого слоя пены по всей ее площади. Это приводит к образованию в отдельных частях решетки трудно ликвидируемых прорывов газа или провалов жидкости. Решетки склонны также к засорению и замазыванию влажной пылью.

Кроме того, в барботажно-пенных аппаратах значителен брызгоунос, поэтому после них необходимо иметь каплеуловители.

В технике современного пылеулавливания заметно выражена тенденция его интенсификации за счет увеличения скорости пылегазового потока. Она нашла практическое решение в так называемых скоростных пылеуловителях.

Скоростной пылеуловитель (турбулентный промыватель, скруббер Вентури) представляет собой аппарат, состоящий из скоростного распылителя (трубы Вентури) и циклона (каплеуловителя), служащего для задержания жидкости, выносимой из трубы в виде загрязненных капель. Каплеуловитель по конструкции не отличается от мокрого циклона, но в него не подается вода. При повышенных температурах перед скоростным пылеуловителем рекомендуется устанавливать полые скрубберы.

Вместо мокрых циклонов в комплексе со скоростными пылеуловителями могут использоваться мокрые электрофилтры, что еще более снижает запыленность газов на выходе.

Основная часть скруббера Вентури — сопло Вентури, состоящее из сужающейся части (конфузора), цилиндрической части (горловины) и расширяющейся части (диффузора) (рис. 3.9).

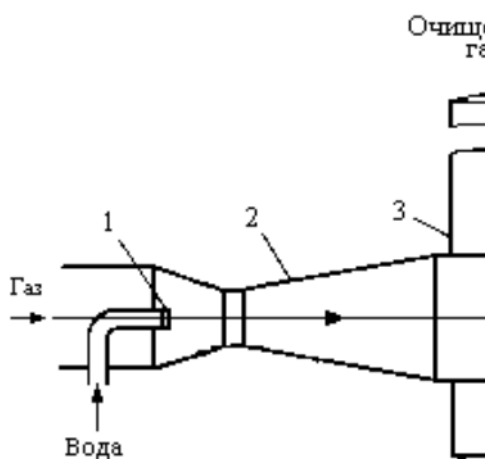


Рис. 3.9. Скруббер Вентури:
 1 — центробежная форсунка; 2 — сопло Вентури; 3 — каплеуловитель

В конфузорную часть сопла Вентури со скоростью 15-20 м/с вводится запыленный поток газа и через центробежную форсунку — жидкость для орошения. К горловине скорость газа достигает 200 м/с, в диффузорной части она снижается до 15-20, а в каплеуловителе — до 4-5 м/с. Угол сужения конфузора обычно составляет 25°, угол расширения диффузора — около 6°. Жидкость подается под давлением до 0,2 МПа. Сопло, как правило, выполняется из листовой стали.

Скрубберы Вентури относятся ко второму классу

пылеуловителей и обеспечивают высокую степень очистки аэрозолей со средним размером частиц 1-2 мкм и их начальной концентрацией до 100 г/м³. Удельный расход воды на орошение равен 0,1-6,0 л/м³.

Один из серийно выпускаемых скоростных пылеуловителей — газопромыватель Вентури прямоточный, высоконапорный (ГВПВ), предназначенный для очистки газа от пылей любого дисперсного состава. При наибольшей температуре входящих газов 400°С, допустимой входной концентрации пыли 30 г/м³, гидравлическом сопротивлении 6-12 кПа, производительности 1,7-84 тыс. м³/ч он создает степень очистки 0,96-0,98. В компоновке со скруббером ГВПВ применяют центробежный каплеуловитель (мокрый циклон) типа КЦТ, обеспечивающий влажность газа на выходе не более 70 мг/м³.

Помимо интенсификации процесса пылеулавливания, достоинствами скрубберов Вентури являются их несложность, малогабаритность, простота обслуживания, интенсивность процесса охлаждения газов до точки росы. Пылеуловители имеют наиболее совершенные аэродинамические формы, при которых мощность (гидравлическое сопротивление) расходуется наиболее эффективно.

Заканчивая рассмотрение основных типов пылеуловителей, приведем данные по относительной стоимости очистки в них: инерционные пылеуловители — 1; циклоны — 2-3; тканевые фильтры — 3-7,5;

электрофильтры — 5-15; промыватели (кроме скрубберов Вентури) — 2,5-4; скрубберы Вентури — 7-15.

Лидируют на мировом рынке пылеулавливающего оборудования США и ФРГ. Наибольший интерес основные фирмы развитых стран проявляют к рукавным и патронным фильтрам, доля которых в сумме продаж составляет 45-55%. Рынок зернистых фильтров незначителен (Груничев...).

3.3. Туманоуловители

Для улавливания жидких аэрозолей (туманов) используют устройства, аналогичные пылеулавливающим. Различие заключается в том, что все туманоуловители работают в режиме самоочистки, т.е. накапливаемая в них жидкость постоянно удаляется. При очистке туманов солей для предотвращения их кристаллизации, зарастания фильтровальной перегородки и, в целом, аппаратов последние орошают водой или обдувают паром. В качестве туманоуловителей используют скрубберы Вентури, электрические устройства и волокнистые фильтры.

В скрубберах Вентури степень очистки воздуха от туманов со средним размером частиц 0,3 мкм достигает 0,999, что вполне сравнимо с высокоэффективными фильтрами.

Из электростатических устройств, помимо мокрых электрофильтров для очистки вентиляционных выбросов от пыли, туманов минеральных масел, пластификаторов и т.п., разработаны *электрические туманоуловители* типа УУП (рис. 3.10). В корпусе 1 такого аппарата устанавливается туманоуловитель 2 типа ФЭ, который питается от источника 4 напряжением 13 кВ через клеммы 3. Загрязненный воздух через входной патрубок, распределительную решетку 8 и сетку 7 подается к туманоуловителю, очищается от примесей, проходит каплеуловитель 5 и поступает на выход. Жидкость отделяется от воздуха, собирается в воронках 6, а затем сливается из УУП через гидрозатвор. Технические характеристики УУП: пылеуловитель II класса, гидравлическое сопротивление 0,04 кПа, производительность по газу 5-30 тыс. м³/ч, степень очистки 0,95; наибольшая температура газов 80°С. Таким

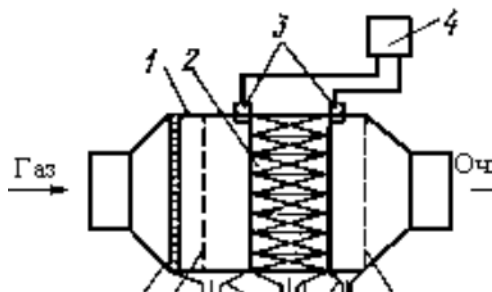


Рис. 3.10. Электрический туманоуловитель

образом, УУП сочетает высокую эффективность улавливания примесей с низким гидравлическим сопротивлением.

В *волокнистых фильтрах* капли задерживаются на поверхности волокон, уловленная жидкость стекает по ним под действием силы тяжести. Туманоуловители с волокнистыми фильтрами делят на низкоскоростные ($W_{\text{ф}} \leq 0,15$ м/с), в которых преобладает механизм диффузионного осаждения капель, и высокоскоростные ($W_{\text{ф}} = 2,0-2,5$ м/с), когда осаждение происходит главным образом под воздействием инерционных сил.

Фильтрующий элемент низкоскоростного туманоуловителя устроен следующим образом (рис. 3.11). В пространстве между двумя цилиндрами 3, изготовленными из сеток, помещается волокнистый фильтроэлемент 4, который крепится через фланец 2 к корпусу туманоуловителя 1. Жидкость, осевшая на фильтре элемента, стекает на нижний фланец 5 и затем через трубку гидрозатвора 6 и стакан 7 сливается из фильтра. Волокнистые низкоскоростные туманоуловители обеспечивают высокую эффективность очистки газа (до 0,999) от частиц менее 3 мкм и полностью улавливают частицы большего размера. Волокнистые слои (толщина 50-150 мм) формируют набивкой стекловолна диаметром 7-30 мкм или полимерных волокон (лавсан, полипропилен) диаметром 12-40 мкм. Гидравлическое сопротивление сухих фильтроэлементов равно 200-1000 Па.

Высокоскоростные туманоуловители имеют меньшие размеры и обеспечивают эффективность очистки 0,90-0,98 (при гидравлическом сопротивлении 1500-2000 Па) от тумана с частицами менее 3 мкм. В качестве фильтрующей набивки в них используют войлоки из полипропиленовых волокон, которые успешно работают в среде разбавленных и концентрированных кислот и сильных щелочей.

Высокоскоростные туманоуловители (рис. 3.12) более эффективны для улавливания высокодисперсных частиц, чем низкоскоростные. Однако повышенная скорость фильтрации приводит к заметному брызгоуносу, существенно уменьшить который удастся установкой брызгоуловителей. Обычно их создают из пакетов сеток. Скорость фильтрации в них не должна превышать 6 м/с.

Конструкция высокоскоростного волокнистого туманоуловителя с цилиндрическим фильтрующим элементом 3 представляет собой перфорированный барабан с глухой крышкой. В нем установлен грубоволокнистый войлок 2 толщиной 3-5 мм. Вокруг барабана на его внешней стороне расположен брызгоуловитель 1, представляющий набор плоских и гофрированных перфорированных слоев винипластовых лент. Брызгоуловитель и фильтроэлемент нижней частью установлены в слой жидкости.

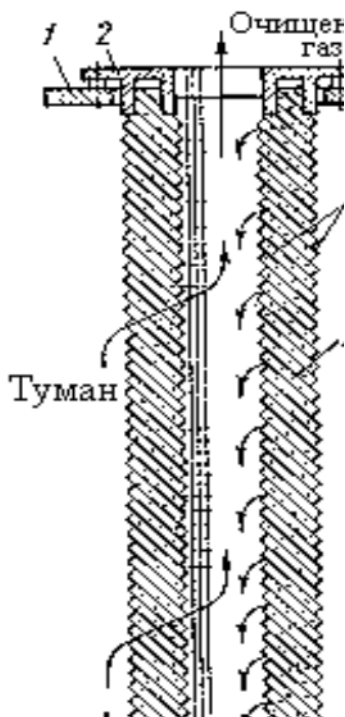


Рис. 3.11. Фильтрующий элемент низкоскоростного туманоуловителя

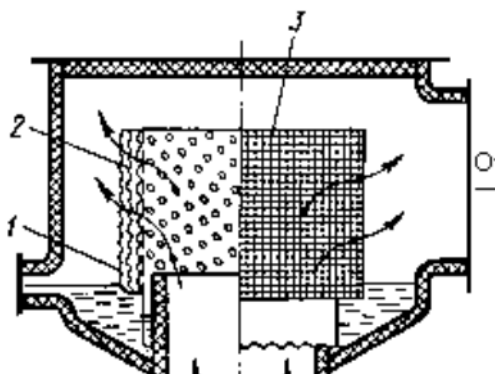


Рис. 3.12. Высокоскоростной туманоуловитель

В заключение приведем техническую характеристику одного из туманоуловителей — ФГВ-Т, предназначенного для тонкой очистки аспирационного воздуха ванн хромирования от туманов и брызг хромовой и серной кислот. Это аппарат второго класса с гидравлическим сопротивлением 0,15-0,5 кПа, производительностью по газу 3,5-80 тыс. м³/ч, эффективностью очистки 0,96-0,99 при наибольшей температуре отходящих газов 90°С. В корпусе аппарата размещена кассета с фильтрующим материалом (иглопробивным войлоком), состоящим из волокон диаметром 70 мкм, толщиной слоя 4-5 мм.

Более подробно волокнистые туманообразователи рассмотрены А.А. Мошкиным с соавторами.

3.4. Методы улавливания и обезвреживания газовых примесей

3.4.1. Классификация

Многие газообразные отходы экологически опасны для окружающей среды, но могут утилизироваться с получением тех или иных продуктов: серной кислоты из серосодержащих газов цветной металлургии, соляной кислоты из хлористого водорода и т.д.

Газовые и паровые выбросы весьма разнообразны и переменны по химическому составу, температуре, содержанию пыли. Последнее требует их предварительной пылеочистки.

Удаление из газов тех или иных газообразных вредностей осуществляется взаимодействием последних с жидкими, твердыми или газообразными веществами. Как следствие, примеси связываются или нейтрализуются, превращаясь в соединения любого агрегатного состояния. Взаимодействие может иметь физико-химический, химический или биохимический характер. Так, твердые вещества поглощают газообразные примеси физадсорбцией или хемосорбцией, при химическом взаимодействии. Жидкие вещества растворяют их без химического (абсорбция) и с химическим взаимодействием, при котором примесь превращается в нейтральное вещество, остающееся в растворе или в другом агрегатном состоянии выделяющееся из жидкого поглотителя. Взаимодействие примеси с газообразным компонентом носит только химический характер, когда вредность либо нейтрализуется, оставаясь газовой, либо образует аэрозоль (пыль, туман), улавливаемый известными способами. Среди реакций в газовой фазе ведущее место занимают термические процессы (пиролиз, дожигание и др.). Для ускорения обезвреживания загрязнителей во всех типах химических превращений могут быть использованы катализаторы.

В целом, способы очистки промышленных выбросов от газообразных загрязнителей можно разделить на: 1) физико-химические — адсорбционные (физ- и хемосорбция), абсорбционные, радиационно-химические; 2) химические, включая каталитические; 3) биохимические. В ряде случаев нельзя провести четкой границы между разными процессами, в частности физико-химическими и химическими.

3.4.2. Физико-химические

3.4.2.1. Адсорбционные

Как метод очистки адсорбция получила развитие в последнее время в связи с освоением производства высокоактивных адсорбентов (активированных углей, силикагелей, синтетических цеолитов). В качестве адсорбентов используют также оксид алюминия, алюмосиликаты, гашеную и негашеную известь, соли кальция, соду, цемент, соли аммония, различные комбинации адсорбентов и т.д. При правильно выбранных технологическом регламенте, схеме и аппаратуре примесь не только может быть удалена с помощью адсорбции практически полностью, но и возвращена в технологический процесс.

Основная технологическая характеристика адсорбента — его поглощательная способность, величина *адсорбции*. Она выражается количеством конкретного вещества, поглощаемого данным адсорбентом (г/100 г). Величина адсорбции может быть значительной. Так, активные угли различных марок, силикагели и синтетические цеолиты при давлении газа 101,3 кПа и температуре 20°C поглощают 3,8-12,7 г ацетилена и 2,0-16,8 г диоксида углерода. Адсорбция возрастает с повышением давления адсорбируемого газа, особенно при относительно низких (до 10 кПа) его значениях, и снижается при более высоких температурах. Последнее приводит к десорбции поглощенного газа.

Методы адсорбции применяются для очистки от органических паров, удаления неприятных запахов газообразных примесей, содержащихся в незначительных количествах в промышленных и сельскохозяйственных выбросах, для улавливания летучих растворителей, очистки выхлопных газов автомобилей, удаления сероводорода, ртути, оксидов серы и азота из отходящих газов и т.д.

Адсорбенты конструктивно выполняют вертикальными и горизонтальными, включая аппараты кольцевого типа. Вертикальные аппараты, как правило, применяют при небольших объемах очищаемого газа, горизонтальные и кольцевые — при производительности, достигающей сотен тысяч метров кубических в час.

Фильтрацию газа обычно ведут через неподвижный слой адсорбента (*адсорберы периодического действия*). Время от времени адсорбент регенерируют или заменяют. Аппараты периодического действия просты (сходны с туманоуловителями и рукавными фильтрами), но имеют низкую допустимую скорость газового потока и, следовательно, повышенные металлоемкость и громоздкость. Другой их недостаток —

большие энергетические затраты, связанные с преодолением гидравлического сопротивления слоя адсорбента.

В адсорберах непрерывного действия адсорбент движется в плотном слое под действием силы тяжести или в восходящем потоке очищаемого воздуха, например в кипящем слое. Это позволяет полностью использовать адсорбционную способность сорбента, организовать процесс десорбции, упростить эксплуатацию оборудования. Недостаток этих аппаратов — значительное разрушение и вынос адсорбента.

Адсорбционные методы получили наибольшее распространение для улавливания паров органических растворителей. В качестве адсорбента в этом случае применяют только активированный уголь, что обусловлено его гидрофобностью, высокой адсорбционной емкостью по парам органических веществ, небольшой удерживающей способностью, достаточной прочностью и т.п. Десорбцию растворителей и регенерацию адсорбента периодически осуществляют перегретым паром в противотоке, перекрывая при этом основной газовый поток. После адсорбции пары воды и растворителя охлаждают, конденсируют и разделяют в сепараторе или в дополнительной колонне, уголь сушат и охлаждают потоком атмосферного воздуха. На 1 т уловленного растворителя при его концентрации во входящих газах 10 г/м^3 затрачивается 2-3,5 т пара при давлении 0,3-0,5 МПа, 30-50 м³ воды для охлаждения, 0,5-1,0 кг активированного угля и 100-250 кВт·ч электроэнергии. Поскольку эти расходные коэффициенты достаточно велики, то адсорберы оправданы только при улавливании дорогих или сильнотоксичных растворителей. Производительность аппаратов составляет 10-150 тыс. м³/ч газа, входная концентрация растворителя изменяется от 0,5 до 20 г/м³, выходная его концентрация не превышает 0,5 г/м³, степень улавливания достигает 95-99%.

Среди адсорбционных методов следует отметить также способы извлечения ртути активированным углем. При использовании последнего его предварительно обрабатывают минеральными кислотами, серой, йодом, сульфидом натрия и т.п., увеличивая адсорбционную емкость угля, достигающую таким образом 10-20% массы ртути. Конечная концентрация ртути в отходящих газах составляет 5-10 мкг/м³. Регенерацию сорбента осуществляют, отгоняя ртуть при температуре около 300°C.

Эффективным твердым адсорбентом ртути являются также синтетические цеолиты типа X, содержащие катионы натрия, кальция, свинца, серебра и позволяющие снижать содержание ртути в газах до 0,5 мг/м³. Для улучшения адсорбционных свойств цеолитов их пропитывают сульфидами или йодидами металлов. Регенерация адсорбентов производится при температуре 330°C.

Широкое распространение адсорбционные методы улавливания получили в металлургии алюминия. В США, например, начиная с 1972 г., все электролизеры оборудуют сухими скрубберами для улавливания фтористого водорода. Улавливающей средой является высокодисперсный порошок глинозема, исходного сырья для электролитического получения алюминия. Глинозем, который вводят в поток отходящих газов, может адсорбировать до 4% HF, или примерно 100 его объемов по отношению к своей массе. Аналогичные системы газоочистки начали использовать и в России (Саяногорский и Уральский алюминиевый (УАЗ) заводы). Внедрение на УАЗе сухой очистки газов производительностью 780 тыс. м³/ч позволило улавливать 99,1% HF, 91% SO₂ и 99,5% пыли (Агафонов...).

Существенный недостаток адсорбционных методов — попутное поглощение пыли, которая при десорбции не удаляется и быстро забивает поры адсорбентов. При промывке последних водой образуются разбавленные растворы различных веществ, загрязненные примесями, в том числе тяжелых металлов, находящие ограниченное применение.

3.4.2.2. Абсорбционные

Абсорбция представляет собой процесс поглощения газообразной примеси жидкостью. Она подчиняется закону Генри, т.е. растворимость газа в жидкости пропорциональна его давлению над ней, обычно снижаясь с повышением температуры.

Поскольку растворение газа является диффузионным процессом, то скорость его пропорциональна поверхности соприкосновения газа с жидкостью, интенсивности их перемешивания, коэффициенту диффузии и градиенту концентрации диффундирующего компонента в газовой и жидкой средах. Поэтому при проектировании абсорберов особое внимание уделяют организации контакта газового потока с жидким растворителем и выбору поглощающей жидкости (абсорбента).

Решающим условием выбора абсорбента является растворимость в нем извлекаемого компонента и ее зависимость от температуры и давления. В частности, газ считают хорошо растворимым, если при 20°C и парциальном давлении, равном 101,3 кПа, его растворимость составляет сотни граммов на 1 кг растворителя. В воде хорошо растворимы аммиак, хлористый и фтористый водород. В ряде случаев применяют водные растворы, например серной кислоты (для улавливания водяных паров), вязкие масла (для извлечения ароматических углеводородов из коксового газа) и др.

В качестве газоулавливающей аппаратуры используют устройства, в которых контакт жидкости с газом реализуют пропуская последний

через скрубберы (Вентури, насадочные, безнасадочные), мокрые циклоны, барботажные аппараты и т.п., аналогичные применяемым при мокрых методах пылеулавливания, иногда несколько измененные в деталях.

Движущей силой абсорбции в аппаратах является разность ΔP_{CP} разностей общего и равновесного парциальных давлений взаимодействующих компонентов на входе и выходе, выражаемая формулой:

$$\Delta P_{CP} = \frac{(P'_G - P'_P) - (P''_G - P''_P)}{(P'_G - P'_P)(P''_G - P''_P)}, \quad (3.3)$$

где P'_G, P''_G — парциальное давление поглощаемого компонента в газовой фазе на входе в аппарат и на выходе из него; P'_P, P''_P — равновесные парциальные давления поглощаемого компонента над жидкостью на входе в аппарат и на выходе из него.

При противоточном (встречном) движении газов и жидкости значения ΔP_{CP} больше, чем при прямоточном. Следовательно, противоток выгоднее, так как для его осуществления требуются аппараты меньшего размера. Однако прямоточное движение более целесообразно в тех случаях, когда равновесное давление поглощаемой примеси над жидкостью очень невелико (практически равно нулю) и почти не увеличивается по мере растворения газа. Этот случай обычно встречается при химическом взаимодействии газовой примеси с жидкостью и образовании малорастворимого соединения. И напротив, прямоточный вариант особенно неэффективен для плохо растворимых газов.

Абсорбционные методы очистки наряду с узлами абсорбции, как правило, включают также узлы десорбции. Десорбцию растворенного газа или регенерацию растворителя проводят, либо снижая парциальное давление примеси в газе, либо повышая температуру, либо используя оба фактора одновременно. Сочетание абсорбции с десорбцией позволяет многократно применять поглотитель и выделять поглощенный компонент в чистом виде.

Абсорбционные методы являются одними из наиболее доступных. Они не зависят от колебаний концентрации примесей на входе, не требуют высоких температур. В качестве поглощающих жидкостей используют водные растворы щелочей, кислот, растворы с добавками восстановителей или окислителей (разд. 3.4.3).

Абсорбционные методы очистки в последнее время внедрены на ряде крупных предприятий.

Так, на ОАО «Невинномысский Азот» используется очистка от CO_2 синтез-газа производства аммиака с заменой моноэтаноламина метилдиэтанолом (Модернизация...).

На Красноярском алюминиевом заводе для очистки анодных газов применены абсорберы инерционно-турбулентного типа с регулярной

подвижной насадкой, состоящей из собственно абсорбера и циклона-каплеуловителя. Для предварительной очистки газов используют пылеосадительные камеры, переоборудованные из электрофильтров. Степень улавливания составляет, %: по HF и SO₂ — до 99, пыли — 95-96, смолистым веществам — 88-90 (Попельшева...).

Особо следует отметить высокую эффективность использования абсорбционных методов для очистки ртути содержащих газов.

В одном из вариантов в качестве абсорбента используют циркулирующий рассол, содержащий около 250 мг/л хлористого натрия и 0,6-0,9 г/л хлора. Процесс осуществляют в колоннах насадочного типа или с дырчатыми тарелками при рН, равном 2-4. Концентрация остаточной ртути в отходящих газах снижается до 0,1 мг/м³.

Другим эффективным абсорбентом паров ртути является разбавленный раствор гипохлорита натрия с избыточным количеством хлористого натрия. Степень извлечения ртути достигает 95-99%.

В цветной металлургии применяют комбинированные методы, основанные на сочетании абсорбции ртути и ее окисления.

Очистку с использованием окислителей можно осуществлять сухим методом, пропуская газы со скоростью 0,1-0,2 м/с через слой пиролюзита высотой 500-800 мм (размер кусочков 3-10 мм). Таким образом удастся понизить содержание ртути в газе до 0,5 мг/м³ и менее.

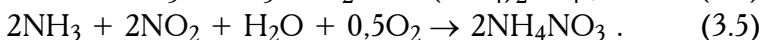
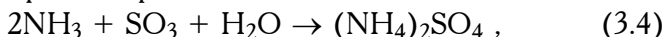
3.4.2.3. Радиационно-химическое и ультрафиолетовое облучение

Радиационно-химические методы очистки относятся к числу новых физико-химических процессов, разрабатываемых в нашей стране и за рубежом. В их основе лежит воздействие на выбросы потоком ускоренных электронов. Как следствие, в них образуются валентно-ненасыщенные возбужденные частицы с положительными или отрицательными зарядами (ионы, радикалы), обладающие повышенной химической активностью. Под их влиянием в газах происходит радиолиз токсичных элементов, т.е. их химические превращения. Продукты радиолиза нетоксичны.

Для радиационно-химических процессов характерно проведение очистки при относительно низких температурах, при которых обычные реакции не протекают. Другим важным преимуществом радиационной технологии является универсальность действия ионизирующего излучения практически на любые загрязняющие компоненты реальных выбросов.

Перспективная область применения радиационно-химического метода — очистка газов от оксидов азота и серы. В частности, при облуче-

нии топочных газов ТЭС резко возрастает скорость окисления этих оксидов до NO_2 и серного ангидрида с последующим образованием азотной и серной кислот. Оптимальная температура газов, поступающих на очистку, составляет $70\text{-}100^\circ\text{C}$, т.е. значительно ниже, чем в термических методах. Если одновременно к газам добавить эквимолярные количества аммиака, то в качестве конечных продуктов появятся не кислоты, а сульфат и нитрат аммония:



Образующиеся аммонийные соли улавливаются в электрофильтрах и могут быть использованы как удобрения. Подсчитано, что в случае реализации радиационно-химического способа очистки топочных газов США, например, потенциально способны производить около 100 млн т продуктов, содержащих до 25% азота и пригодных в качестве удобрений.

Схема радиационно-химического удаления оксидов азота и серы включает предварительную очистку отходящих газов в электрофильтрах для удаления большей части золы, их увлажнение в башне и снижение температуры до $70\text{-}100^\circ\text{C}$, впрыскивание в поток эквимолярного по серному ангидриду и оксидам азота количества аммиака и радиационно-химическую обработку газов в облучательной камере. После нее мелкие фракции твердых частиц сульфата и нитрата аммония осаждают в электрофильтрах, а более крупные улавливают в рукавных фильтрах. Облучательная камера находится в специальном здании с необходимой бетонной радиационной защитой (толщина стен $700\text{-}1000$ мм). Облучение проводят встречным горизонтальным пучком электронов, используя электронные ускорители мощностью до 800 кВт и напряжением до 200 кВ. Энергия электронов достигает 1 МэВ, производительность установки по очищаемым газам — до 100 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$.

Необходимо отметить, что источники облучения, используемые в радиационной технологии, по своим физическим параметрам в принципе не могут вызвать так называемой «наведенной активности» в облучаемых системах. Системы радиационной безопасности достаточно хорошо отработаны и позволяют эксплуатировать радиационные установки без вреда для обслуживающего персонала.

Экономическая оценка показывает, что стоимость радиационно-химической очистки в 1,5 раза ниже, чем комбинированная очистка от оксидов серы и азота с использованием химических способов. Вместе с тем ее практическое воплощение требует создания промышленной базы для сооружения ускорителей большой единичной мощности. Например, для теплоэлектростанции на 500 МВт требуется 14 ускорителей общей

мощностью 0,9 МВт. Однако, как было отмечено, в настоящее время уже прошли промышленные испытания ускорители на 0,8 МВт при напряжении 200 кВ (Электронно-лучевые...)

Радиационные методы очистки в последние годы осваиваются в ряде стран (Япония, США, Германия и др.). Применение ими ускорителей электронов мощностью порядка 0,8 МВт позволяет получить степень совместной очистки газов от сернистого ангидрида и NO_x , составляющую соответственно 90-95 и 80-85%.

Ультрафиолетовое облучение как метод обезвреживания загрязнителей в последние годы получил распространение, особенно за рубежом, при очистке питьевых, а также сточных вод (разд. 4.3.4.7). Однако этот способ начинают применять и для очистки воздуха. Разработано и серийно выпускается несколько типов УФ-облучателей для закрытых помещений (образовательных и лечебных учреждений, мест общественного пользования). Они функционируют при 10-35°C и относительной влажности до 80%, при среднем сроке службы не менее 5 лет и наработке на отказ не менее 2000 часов. Заряжаются облучатели от бытовых источников переменного тока. Почти 100% их облучения приходится на длину волны 253,7 нм. Бактерицидная эффективность ультрафиолета по некоторым типам стафилококков составляет не менее 90%. Применение облучателей выявило их высокую эффективность при эпидемиях гриппа (Кондрашов...).

3.4.3. Химические

Удаление газовых примесей химическими методами осуществляется обычно в жидкой или газообразной фазах.

3.4.3.1. Жидкофазные

В этой группе методов в качестве активной среды часто используют водные или другие растворы веществ, химически взаимодействующих с поглощаемым компонентом. Как правило, это растворы электролитов (кислот, щелочей, солей), образующих с газовой примесью малолетучие или малорастворимые химические соединения. Поглотительная способность применяемой жидкости почти не зависит от парциального давления газообразной примеси, поэтому методы химической очистки предпочтительны обычно при небольшой концентрации последней в отходящих газах.

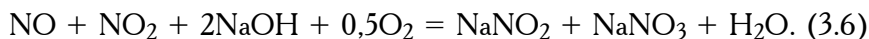
Процессы химического улавливания примесей используют для нейтрализации наиболее крупномасштабных загрязнителей окружающей среды:

оксидов азота, сернистого ангидрида, сероводорода, галогенов и др. Поскольку конкретные реакции нейтрализации каждого из этих веществ индивидуальны, удобнее имеющиеся способы очистки рассматривать применительно к перечисленным основным газовым загрязнителям.

Оксиды азота

Для их улавливания применяют щелочные растворы калия, натрия, кальция, кислоты и другие вещества. Они окисляют или восстанавливают оксиды азота, превращая их в нетоксичные соединения.

Эффективность очистки *щелочным* растворителем сильно возрастает при увеличении степени окисленности оксидов азота. При ее значениях 25%, например в отходящих газах ТЭС, эффективность очистки не превышает 70%. Продуктами взаимодействия являются в основном соли азотистой и азотной кислот:



Помимо относительно низкой степени очистки, недостаток щелочных поглотителей заключается в том, что процесс проводят при оптимальной температуре около 30°C, поэтому очищенный газ перед выбрасыванием в атмосферу подогревают, чтобы повысить эффективность его вытяжки через дымовую трубу.

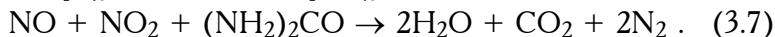
При использовании в качестве поглотителей концентрированной серной и азотной кислот либо их смесей, являющихся сильными окислителями, степень очистки возрастает. При поглощении образуются нитролеум или нитроза. Применение кислот требует коррозионностойких материалов.

Эффективность улавливания увеличивается еще в большей степени при введении в растворы окисляющих и восстанавливающих добавок. К первым относятся KBrO_3 , KMnO_4 , H_2O_2 , $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и др. Наиболее часто применяют смесь H_2O_2 , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и NH_4OH . В результате очистки получают нитрат аммония. Добавлением восстановителей оксиды азота переводят в элементарный азот. Из используемого в этом качестве большого количества веществ отметим NH_4OH , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, сульфаминовую кислоту, соли двухвалентного железа, сульфит-бисульфиты, амины и аминокислоты, карбамид. Последний находит все большее применение.

Карбамидный способ запатентован США в 1980 г. Реагент нетоксичен, пожаро- и взрывобезопасен, удобен в практическом применении.

Метод не требует предварительной очистки газа, величина рН раствора составляет 5-9, что не вызывает коррозии арматуры. Эффективность улавливания практически не зависит от колебаний входных концентраций оксидов азота.

Восстановитель вводится в поток отходящих газов с температурой 700-1100°С в виде водного раствора, в твердом или расплавленном состоянии. Процесс описывается реакцией:



В настоящее время способ реализован на московском мусоросжигательном заводе №2 (*Сокращение...; Некаталитическая...*).

Первые в СНГ опытно-промышленные испытания способа, в условиях Змиевской ГРЭС, были выполнены в режиме пропускания газов через раствор карбамида. При его концентрации 70-78 г/л, температуре газа на входе 145-160°С, на выходе 65-90°С и его расходе 37-60 тыс. м³/ч содержание оксидов азота в выбросе снижалось со 157-339 до 8-18 мг/м³, т.е. на 95%.

Усовершенствованный карбамидный способ улавливания оксидов азота внедрен в начале 90-х годов 20 в. на Чепецком механическом заводе. Очищаемые газы ТЭЦ пропускают через слой пористых гранул (из силикагеля, алюмогеля или активного угля), пропитанных водными растворами восстановителей (карбамид, аммонийные соли). Эффективность улавливания оксидов при их концентрации ≤ 1 г/м³ и температурах, близких к комнатным, достигает 90-95%.

Сернистый ангидрид

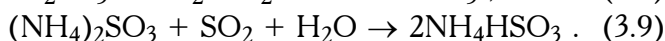
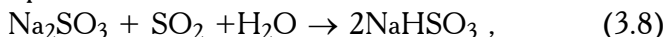
Известно несколько промышленно освоенных способов удаления этого компонента. В частности, как кислотный оксид он достаточно полно может быть уловлен раствором любого основания, особенно щелочного. Поэтому на практике щелочные методы улавливания SO₂ широко практикуют, особенно с применением известкового и известнякового молока. Используют также сульфит-бисульфитные и карбамидный поглотители, оксиды металлов, растворы кислот.

При взаимодействии сернистого ангидрида с Ca(OH)₂ образуется сульфит кальция, который окисляют до сульфата (гипса). Процесс проводят с использованием известковой пульпы, окисление CaSO₃ осуществляют при 350-500°С в аппаратах с кипящим слоем, вводя в качестве дополнительного окислителя соединения 4-валентного марганца или пиролюзитовую руду. Пульпу в ходе очистки при контакте с дымовыми газами можно доводить до сухого продукта (так называемый полусухой метод в отличие от мокрого).

Очистка до 0,05% SO₂, как правило, осуществляется в скрубберах с насадкой при рН = 6,0-6,3 и исходной концентрации сернистого ангидрида 1-2%. С целью предотвратить отложения гипса в насадке

на 1 кг улавливаемого сернистого газа приходится подавать для орошения не менее $1,5 \text{ м}^3$ жидкости.

Сульфит-бисульфитные методы очистки с применением сульфита натрия и аммония позволяют очищать газы с любым содержанием сернистого ангидрида. При его поглощении сульфитными растворами при температуре $35-45^\circ\text{C}$ в соответствии с реакциями (3.8) и (3.9) образуются бисульфиты:



Растворы регенерируют, нагревая их до кипения.

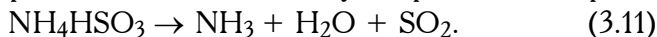
При нагревании бисульфита натрия образуются концентрированный сернистый ангидрид и сульфит натрия:



Из SO_2 можно получить либо серу по методу Клауса (разд. 3.4.3.2), либо серную кислоту, предварительно доокислив сернистый ангидрид до серного на катализаторе.

Сульфит натрия регенерируется не полностью вследствие его частичного превращения в сульфат Na_2SO_4 и гипосульфит $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Регенерацию сульфита аммония и выделение сернистого газа проводят при 150°C в распылительной сушилке или в выпарном аппарате, при этом сульфит разлагается на аммиак, воду и сернистый ангидрид:

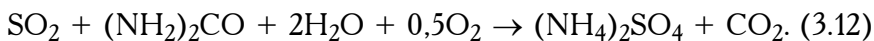


До 10% сульфита в ходе очистки превращается в сульфат аммония, который выводится в виде побочного продукта и может быть использован как удобрение или переработан на гипс при добавлении суспензии известкового молока.

Сульфит-бисульфитные методы позволяют очистить газы до концентрации 0,02% SO_2 . При начальной концентрации 3% SO_2 на 1 т уловленного сернистого ангидрида расходуется порядка 4 т пара, 125 м^3 воды и 70 кг аммиака. При исходной концентрации SO_2 на уровне 0,3% расходные коэффициенты возрастают в 1,5-2,5 раза.

Своеобразной комбинацией элементов сульфит-бисульфитного и известняково-известкового методов является десульфурация газов угольных ТЭС с использованием в оросительных скрубберах морской воды. В данной технологии используется то обстоятельство, что в морской воде содержится бикарбонат кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. При взаимодействии с SO_x он образует бисульфит кальция $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$, который окисляется воздухом до сульфата. Степень удаления SO_2 оценивается в 95%. По рассматриваемому методу Германией велось строительство коммерческой установки для Индонезии (Asalty....).

Карбамидный метод позволяет почти полностью удалять оксиды серы:



Как показали опытно-промышленные испытания по очистке отходящих газов Змиевской ГРЭС, при концентрации карбамида в растворе 78 г/л, температуре газа на входе 150-160°C, на выходе — 85-90°C и его расходе 37-60 тыс. м³/ч концентрация оксида серы в газе снижалась с 1340-3216 мг/м³ до следовой.

В ряде методов в качестве реагентов используют пульпу оксидов металлов (магния, цинка, бария, меди) с образованием сульфитов металлов. Их разлагают при 200-400°C с выделением сернистого ангидрида или нагревают в присутствии угля и водяного пара. В последнем случае образуются оксид металла и сероводород:



Часто проводят и тот и другой процессы, а газы (SO₂ и H₂S) смешивают для проведения реакции Клауса.

О технико-экономической эффективности сероулавливания с использованием оксидов металлов можно судить по данным о применении оксида цинка. В этом варианте при исходных концентрациях сернистого ангидрида, равных 0,3 и 3,0%, на 1 т его уловленной массы расходуется соответственно: пара 2 и 3 т, воды 25 и 35 м³, технического оксида цинка около 200 кг и мазута 0,3 т.

Улавливание сернистого ангидрида *серной кислотой* производят в присутствии окислителя (пиролюзитовой руды), барботируя газ через ее слабый раствор. Таким образом можно получить раствор серной кислоты с концентрацией до 20-25%. Расход пиролюзита на 1 т уловленного SO₂ составляет 15 кг при степени очистки газа 75-85%.

Наибольшее распространение из перечисленных получили способы мокрого и полусухого улавливания SO₂ при очистке отходящих газов ТЭС, работающих на угле.

За рубежом первые установки очистки газов от SO₂ появились в 70-е годы 20 в. Однако уже в 1988-1992 гг. установки обессеривания функционировали в Германии (на ТЭС суммарной мощностью 35 ГВт), США (50 ГВт), Японии (45 ГВт). Особенно часто используют мокрые методы с применением извести, известняка и сульфит-бисульфитный-натриевый. В частности, в Германии доля установок мокрого обессеривания превышает 90%, на 95% из них используют известь и известняк. Улавливание сернистого ангидрида суспензией Ca(OH)₂ внедрено также на более чем 150 ТЭС США. Применение извести обеспечивает более высокое качество образующегося при сероулавливании гипса, который может быть использован в строительстве. Однако ее производство, в свою очередь, является экологически грязным процессом.

Схема переработки гипса, продукта мокрого способа сероулавливания, включает реактор для регулирования рН сточных вод установки обессеривания дымовых газов, отстойник-осветлитель, аэратор, фильтр-пресс. Для повышения степени обезвоживания осадка вводится хлорное железо FeCl_3 и катионитовые полимеры. Влажность осадка после обезвоживания составляет 45-50% (Mierzejewski).

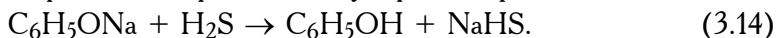
На сравнительно небольших топочных установках электростанций и заводов по сжиганию мусора более целесообразно применение технологии полусухого обессеривания, обеспечивающей такую же степень очистки, как и мокрый способ, при меньших капитальных затратах, чем в системе влажной обработки. В качестве одного из улавливающих компонентов в данном варианте наряду с известью можно использовать топливные золы (Weiler).

Стоимость сероулавливающих установок составляет 22-26% от капитальных вложений в тепловую электростанцию. В последнее время активно развиваются методы совместной очистки дымовых газов от оксидов серы и азота, что позволяет сохранить стоимость газоулавливающей установки на уровне 25-30% от капитальных вложений в ТЭС. При раздельном улавливании SO_x и NO_x капитальные затраты в газоочистку достигают 50% стоимости ТЭС. Ожидается, что стоимость продаж десульфурационных установок в 2008 г. достигнет 8,8 млрд дол (Пик...).

Сероводород

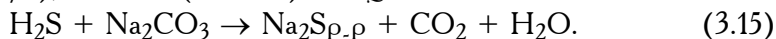
При очистке газов от сероводорода в качестве поглотителя применяют растворы фенолята натрия, щелочей, соды, аминов, мышьяксо-держащие, водные суспензии фосфоритов и др.

Очистка в фенолятном растворе носит циклический характер, с регенерацией раствора. При обычной температуре сероводород поглощается с образованием фенола и бисульфида натрия:



При нагревании раствора процесс идет в обратном направлении с выделением концентрированного сероводорода, который может быть превращен в элементарную серу, например по реакции Клауса.

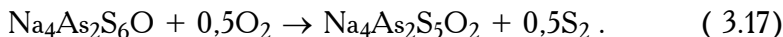
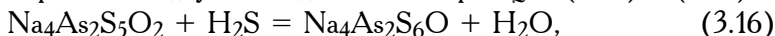
При небольшом количестве сероводорода и необязательности регенерации поглотителя примесь улавливают растворами соды (25-30 г/л), поташа (15-20%) или щелочей:



Аминовые процессы остаются основными при очистке от сероводорода. Широкое применение нашли моноэтаноламин (МЭА) и диэтаноламин (МДЭА). На Оренбургском газоперерабатывающем заводе

используют также метилдиэтанолламин. При очистке газов нефтеперерабатывающих заводов получают (для МЭА/МДЭА): степень очистки от H_2S 99/98; концентрацию H_2S в очищаемых газах, ppm (5-30/3-5). Замена МЭА на МДЭА позволила также сократить потребление пара на 25, электроэнергии на 3-5%, уменьшить коррозию оборудования (Современные...).

Улавливание сероводорода *мышьяково-щелочными* растворами (процесс Джамарко-Ветроукока) также широко распространено в промышленности. Оно основано на окислении H_2S до элементарной серы при протекании двух последовательных реакций (3.16) и (3.17):



Реакция (3.17) служит также для регенерации растворов.

Преимуществами рассматриваемого метода являются высокая степень извлечения серы и легкость регенерации раствора. Недостаток метода — токсичность используемого реагента.

Применение *водных суспензий фосфорита* для улавливания H_2S опробовано при промышленных испытаниях очистки отходящих газов отделений сушки и плавления полифосфатов в производстве желтого фосфора. Степень удаления сероводорода — от 45-385 мг/м³ до его следов при температуре газов на входе в очистку 90-255°C и на выходе — 30-60°C. Отработанную суспензию целесообразно использовать в самом процессе получения желтого фосфора, заменяя ею до 20% фосфорита.

Помимо H_2S , из отходящих газов удалялись также оксид серы (степень извлечения до 92%), гидрид фосфора PH_3 и фтор — до следов (Шакиров).

Галогены

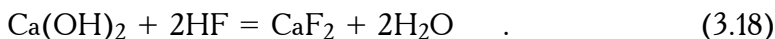
Наиболее часто встречается очистка от хлористого водорода, хлора, фтористого водорода и фтора.

Хлористый и фтористый водород, фтор хорошо растворимы в воде и улавливаются ею с образованием соляной и плавиковой кислот.

В частности, при улавливании хлористого водорода образуется 15-18%-й раствор соляной кислоты. Его обрабатывают хлористым кальцием, поглощающим часть воды, что повышает концентрацию кислоты до товарной (30-32%) (How to...).

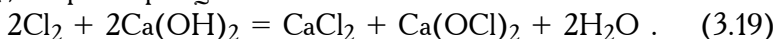
Химическую очистку от этих примесей применяют лишь в случае их низкой концентрации в отходящих газах (менее 2% — для HCl), используя в качестве поглотителя водные растворы какого-либо основания. Взаимодействие последнего с хлористым и фтористым водоро-

дом является типичной реакцией нейтрализации и заканчивается образованием солей соляной или плавиковой кислот. Наилучшими поглотителями служат растворы щелочей, но экономичнее применять суспензию известкового молока:



Реакция (3.18) используется, например, при мокрой очистке газов электролитического производства алюминия.

Хлор растворяется в воде значительно хуже, чем HCl, поэтому при любых его концентрациях в отходящих газах для улавливания используют водные растворы щелочей или известковое молоко:



Оптимальная концентрация известковой суспензии составляет 20-50 г/л.

Основная аппаратура для реализации химических методов очистки газов аналогична используемой в адсорбционных методах.

3.4.3.2. Газофазные

Газофазные методы, как уже отмечалось, основаны на нейтрализации вредных примесей с переводом их в менее опасные соединения. Большая часть этих методов относится к *термическим*, т.е. проводится при высокой температуре. Они применяются в тех случаях, когда объемы выбросов велики, а концентрации загрязняющих веществ превышают 300 мг/л¹.

Методы термической нейтрализации во многих случаях обладают преимуществом перед твердофазным или жидкофазным поглощением газовых примесей. Они не требуют шламового хозяйства, имеют компактное, простое в обслуживании оборудование, низкую стоимость очистки. Однако области их применения ограничиваются свойствами образующихся при окислении продуктов реакции. Они не используются, как правило, для газов, содержащих фосфор, галогены, серу, так как продукты реакции в этом случае по токсичности во много раз превосходят исходные газовые выбросы. Поэтому методы термического обезвреживания обычно пригодны для токсичных выбросов органического происхождения, не содержащих упомянутых галогенов, серы и фосфора. Продуктами нейтрализации этих выбросов являются простые углеводороды типа метана или пары воды и диоксид углерода.

Можно выделить три основных варианта термической нейтрализации газовых выбросов при ее продолжительности 0,3-0,8 с: сжигание, термическое окисление и термокатализ. Сжигание в пламени и термическое окисление осуществляют при температурах 600-800°C, термо-

каталитическое сжигание — при 200-450°C. Выбор схемы нейтрализации определяется химическим составом загрязняющих веществ, их концентрацией, начальной температурой газов, объемным расходом и предельно допустимыми нормами выброса этих соединений.

Сжигание — окислительный термический процесс автогенного характера. Автогенность означает, что теплоты, выделяемой при окислении отхода, достаточно для поддержания горения и что дополнительного топлива для этого не требуется.

Сжигание обеспечивает эффективность нейтрализации выбросов на 0,90-0,99. Его используют главным образом для отходов, трудно поддающихся другим видам обработки. Температура обезвреживания углеводородных газов составляет не менее 600-650°C, а содержащих оксид углерода — 680-800°C.

Сжигание проводят или в специально сконструированных топочных устройствах (камерах, циклонах и т.п.), или непосредственно в факеле, т.е. в открытой горелке, направленной обычно вертикально вверх (например, в устье трубы).

Основной недостаток сжигания заключается в том, что температура пламени может достигать 1300°C. При избытке воздуха и достаточном времени его пребывания в зоне горения это приводит к образованию NO_x . Таким образом, устраняя загрязнения одного типа, процесс сжигания может инициировать выбросы других вредных веществ.

Количество оксидов азота можно снизить усовершенствованием режима сжигания.

Хорошо известен способ уменьшения эмиссии NO_x при *двухступенчатом режиме сжигания* природного газа в горелках, предусматривающем организацию первичной и вторичной зоны горения топлива.

В частности, сжигание в первичной зоне можно осуществлять с коэффициентом α избытка воздуха, меньшим единицы. Это приводит к сгоранию топлива преимущественно до оксида углерода, снижению максимальной температуры и содержания кислорода в ядре факела, увеличению его длины, уменьшению скорости образования NO_x . Дополнительное количество воздуха для достижения общего значения $\alpha > 1$ подают во вторичную зону, дожигая в ней СО до диоксида углерода. Однако этот процесс вследствие разбавления продуктами горения из первичной зоны осуществляется при более низких, чем при одностадийном сжигании, температурах, что обеспечивает общее уменьшение выбросов NO_x .

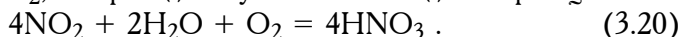
В другом варианте сжигание в первичной зоне осуществляют с большим избытком воздуха, подавая в нее только часть топлива. Это, естественно, снижает температуру и выход NO_x в данной зоне. Оставшаяся часть топлива подается во вторичную зону. Поскольку тем-

пература поступающих туда газов из первичной зоны ниже, чем при одноступенчатом сжигании, то она тем более остается такой при дожигании топлива газами этой зоны с пониженным содержанием кислорода (Уменьшение...).

Трехступенчатое сжигание предполагает горение 80-85% топлива с нормальным коэффициентом избытка воздуха (1,05-1,10) и создание восстановительной зоны выше основной зоны горения за счет ввода оставшихся 15-20% топлива при недостатке окислителя. В верхнюю часть топки подается третичный воздух для дожигания продуктов неполного сгорания из восстановительной зоны. Концентрация NO_x может быть снижена втрое, с 1100 до 400 мг/м³ (Беликов...).

Эффективным приемом является *рециркуляция* уходящих дымовых газов, когда часть продуктов сгорания возвращается и оптимально распределяется по длине факела. Сокращение содержания NO_x может достичь 2-3 раз.

Известен также *одноступенчатый способ* сжигания топлива при избытке воздуха, обеспечивающем в отходящих газах более 4% O_2 . Если при нормальном процессе горения ($\alpha = 1,05-1,10$; содержание кислорода в продуктах сжигания 1,5-2,0%) 95-97% NO_x обычно представлены NO , то при повышенном содержании кислорода этот оксид окисляется до NO_2 , который далее улавливается водой по реакции



При обычных по составу кислорода отходящих газах окисления NO в NO_2 можно достичь в электрофильтрах со струйным разрядом, а затем выделить диоксид азота из газа, например в насадочных скрубберах (Некоторые...).

Снижения концентраций NO_x и других загрязнителей атмосферы, образующихся в процессе горения, можно также добиться введением в состав горючего вещества *специальных добавок*. Так, в Японии фирма Okura Industrial Co при переработке отходов пластмасс сжиганием добавляет к ним 1% активированных нетоксичных феррооксидных присадок, способствующих подавлению выбросов NO_x , диоксинов и оксида углерода благодаря полному сгоранию пластмасс при минимальном избытке кислорода. В частности, при температуре горения 800°C содержание NO_x в отходящих газах снижается в два раза, а оксида углерода — на 30%. При введении присадки в смесь поливинилхлорида с известняком происходит также уменьшение выбросов хлористого водорода, образующегося при обычных режимах сжигания отходов (Additive in...).

Следует отметить, что затраты, связанные с уменьшением выбросов оксида азота за счет усовершенствования процесса сжигания топлива, значительно ниже, чем при строительстве установок по очистке газов.

Один из перспективных путей снижения загрязнения окружающей среды — приготовление *водотопливных суспензий*, содержащих 60-70% измельченного угля. Данный вид топлива имеет большую теплоту сгорания и резко, в 2-3 раза, снижает количество вредных выбросов в атмосферу (Пути...).

Термическое окисление, в отличие от сжигания, не носит автогенного характера и требует дополнительных источников тепла (топлива). Причиной этого являются недостаточные концентрации горючих примесей и кислорода в отходящих газах.

Для реализации термического окисления обычно используют один или несколько факторов: подмешивание свежего воздуха, нагрев отходящих газов, добавление топлива. Подмешивание свежего воздуха эффективно в тех случаях, когда газы имеют высокую температуру и достаточную концентрацию горючих примесей. Этот прием широко используют при дожигании оксида углерода в отходящих газах металлургических агрегатов (вагранок, электродуговых печей, сталеплавильных конвертеров), при дожигании продуктов неполного сгорания (CO и C_nH_m) автомобильных двигателей непосредственно на их выхлопе. В случаях, когда температура отходящих газов и содержание в них горючих компонентов недостаточны, их подогревают, а затем пропускают через рабочую зону, в которой дополнительно сжигают топливо, обычно газообразное, добавляя при необходимости воздух. Температура горения поддерживается выше температуры воспламенения вредных примесей, чтобы они успели сгореть за время пребывания газов в рабочей зоне.

Основное преимущество термического окисления — возможность регулирования температуры сжигания, поддержания ее на уровне, исключающем образование заметных количеств оксидов азота.

Термокаталитические реакции являются частным случаем сжигания или термического окисления, отличаясь лишь применением катализаторов. Их использование позволяет за счет резкого ускорения процесса нейтрализации существенно сократить габариты реакторов и снизить температуру реализации термических методов до 300°C и менее.

Обычно проводят гетерогенный катализ на твердых катализаторах. К наиболее эффективным из них относятся композиции на базе благородных металлов (платины, рутения, палладия и др.). Они действуют в широком диапазоне составов газовых смесей, имеют низкую температуру начала эффективной работы и ее достаточно высокий верхний уровень, долговечны, устойчиво функционируют при повышенной скорости газового потока. Эти катализаторы, несмотря на увеличенную стоимость, используют чаще других.

В ряде случаев применяют катализаторы на основе Cu , Cr , Co , Ni , их оксидов, сплавов и т.д. Эффективность их ниже, чем платиновых и

палладиевых, поскольку они менее долговечны, имеют повышенный нижний температурный предел эффективной работы и меньшую степень улавливания при высокой скорости газового потока.

Для каждого катализатора существует оптимальный температурный интервал применения. Нижний его предел определяется минимальной температурой начала реакции. Для многих углеводородов и их производных он находится на уровне 200-350°C. Максимальная рабочая температура многих катализаторов составляет 800-850°C, выше которой их активность снижается или они разрушаются.

Присутствие в обрабатываемом газе железа, свинца, кремния, фосфора и соединений серы отравляет катализаторы, сокращает срок службы многих из них.

Различают два конструктивных варианта газоочистных каталитических устройств:

каталитические реакторы, в которых катализаторы размещены в отдельных корпусах;

термокаталитические реакторы, более распространенные, в которых в общем корпусе размещены контактный узел и подогреватель (рис. 3.13).

Термокатализ в настоящее время используется для очистки газов от оксидов азота и монооксида углерода.

Широкое применение получило селективное каталитическое восстановление NO_x аммиаком — технология SCR (Selective catalytic reduction), или СКВ. Появившись в 1961 г., она, начиная с 70-х годов прошлого века, внедрялась в Японии, США, Западной Европе, где в середине 90-х годов насчитывалось уже более 500 соответствующих установок. Основная реакция процесса:

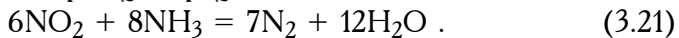


Рис. 3.13. Каталитический реактор:

- 1 — теплообменник-рекуператор;
- 2 — контактное устройство;
- 3 — катализатор;
- 4 — подогреватель;
- 5 — горелка природного газа

Она реализуется при 200-450°C на ванадийсодержащем катализаторе с использованием носителя (оксида алюминия). Основная область применения технологии — очистка дымовых газов ТЭС с эффективностью свыше 90% на установках с единичной мощностью до 1 млн м³/ч.

Относительно высокие капитальные затраты (до 50 дол/кВт·ч) и отсутствие отечественных катализаторов сдерживают применение СКВ в нашей стра-

не. В начале 21 в. в ней имелись лишь три установки, работающие по технологии фирмы Topce (Использование...).

Способ SCR предусматривает как один из вариантов осуществления процесса использование мочевины взамен аммиака (Radojevic).

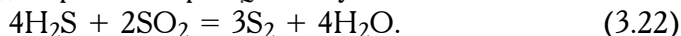
Однако наряду с SCR разработано и широко используется некаталитическое восстановление NO_x аммиаком — технология SNCR (Selective non catalytic reduction), запатентованная в США в 1975 г. В настоящее время количество установок СНКВ сопоставимо с их числом в технологии СКВ. Реализуется СНКВ, как и СКВ, по реакции (3.21) или аналогичным при 900-1100°С и продолжительности реакции 0,2-0,6 с, эффективности улавливания NO_x на уровне 70%.

Капитальные затраты на изготовление СНКВ-установок при оборудовании ими действующих котлов ТЭС примерно в 13 раз ниже, чем для СКВ-процесса (Использование...).

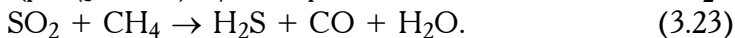
В России две первые (они же — последние) установки СНКВ эксплуатируются с 1992 г. на ТЭЦ г. Тольятти.

Современные технологии очистки газов от оксида углерода включают каталитические способы с применением металлов платиновой группы, золота и серебра (рабочие температуры 100-160°С), неблагородных металлов и их оксидов (0-100°С), оксидно-металлических и металлокомплексных систем, других композиций (Смола...).

Помимо рассмотренных выше термических методов, известны и другие газофазные способы. Так, в основе многих вариантов очистки газов от диоксида серы лежит реакция Клауса:



В соответствии с уравнением реакции, соотношение $\text{H}_2\text{S} : \text{SO}_2$ равно 2. Для его поддержания технологичнее вначале SO_2 метаном восстанавливать до H_2S (реакция 3.23), 1/3 которого затем вновь окислить до SO_2 :



Реакции Клауса мешают присутствие значительных количеств углекислого газа и кислорода. Углекислый газ адсорбируют щелочными растворами, кислород поглощают моноэтаноломином или другими адсорбентами в присутствии катализаторов на основе оксидов металлов (Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Al) и оксида кремния.

Процесс Клауса экономически целесообразен при концентрациях сернистого ангидрида в дымовых газах, равных или больших 2%, что имеет место в цветной металлургии (Еремин). В рядовых отходящих газах ТЭС она ниже (0,5-0,6%). Несмотря на это и на сложность метода, практическая реализация реакции Клауса постоянно находится в центре внимания энергетиков, поскольку это позволяет получить ценный продукт в виде элементарной серы. Последний получают в твердом ви-

де, он занимает гораздо меньшие объемы в сравнении с эквивалентными количествами серосодержащих газов, с минимальными затратами может быть доставлен потребителю на значительные расстояния.

Способ Клауса используется также для удаления сероводорода из природных газов с высоким его содержанием (3-26%) на Оренбургском, Саратовском и Астраханском месторождениях. Однако выявлены существенные препятствия для выхода технологий на проектные показатели из-за частых аварийных остановок, необходимости строительства дополнительных очистных сооружений и создания СЗЗ вокруг комплексов (Громов).

В Швейцарии разработан способ Plasmacat удаления паров различных примесей, например растворителей лаков и красок, галогенированных углеводородов, из газовой фазы без ее нагревания. Способ основан на возбуждении молекул в переменном электрическом поле с напряжением несколько тысяч вольт. Полученная энергия возбуждения эквивалентна тепловой, достигаемой нагревом на несколько тысяч градусов, хотя при этом температура газа практически не меняется. Возбужденные молекулы в присутствии простейших катализаторов превращаются в безвредные вещества без образования токсичных побочных продуктов. Достижимая в этом способе плотность энергии столь велика, что превращениям (окислению) подвергаются не только молекулярно-дисперсные системы, но и гетерогенные, включающие споры, бактерии, вирусы. Производительность установок, предназначенных для реализации процесса Plasmacat, может варьировать в очень широких пределах – от 10 до 100 тыс. м³/ч очищаемого газа (Kalte...).

Подготовлена к коммерческому использованию технология удаления из дымовых газов оксида серы за счет вдувания в отходящий поток бикарбоната натрия NaHCO₃ (сухой способ очистки). При повышенной температуре потока бикарбонат натрия разлагается и окисляется с выделением паров воды, оксида углерода и свежобразованного активного оксида натрия. Последний взаимодействует с SO_x, образуя нейтральный по химическому действию сульфат натрия Na₂SO₄. Его отделяют от газового потока на тканевых фильтрах или электрофильтрах вместе с частицами золы. Степень очистки от SO_x достигает 90%, капитальные затраты в условиях ТЭС не превышают 20 дол./кВт (Dry...).

3.4.4. Биохимические

Биохимические методы в ряде стран (ФРГ, Швейцария, Нидерланды) начали применять для удаления неприятных запахов биологиче-

ского происхождения в литейном производстве и в автомобильной промышленности при нанесении лаковых покрытий.

Биохимические методы наиболее приемлемы для очистки отходящих газов постоянного состава. При частом его изменении микроорганизмы не успевают адаптироваться к новым веществам и выработать достаточное количество ферментов для их разложения.

Используют два типа аппаратов биохимической очистки: биоскрубберы и биофильтры.

Биоскрубберами называют абсорбционные аппараты, в которых абсорбентом служит водная суспензия микроорганизмов активного ила. Содержащиеся в очищаемых газах вредные вещества улавливаются и расщепляются ею. Так как биохимические реакции протекают с относительно небольшой скоростью, то для обеспечения высокой эффективности работы газоочистной установки требуется промежуточная емкость, которая может быть выполнена в виде отдельного реактора или встроена в основание абсорбера.

Способность активного ила к расщеплению уловленных веществ усугубляется по соотношению БПК и ХПК. При соотношении $BPK_{п} : XPK \geq 0,5$ вещества поддаются биохимическому окислению.

В *биофильтрах* очищаемый газ пропускают через слой насадки, орошаемый водой до влажности, достаточной для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов. Насадкой служат природные (почва, торф, компост и др.) или искусственные материалы. При использовании последних на них предварительно выращивают биологически активную пленку путем орошения водой или суспензией активного ила.

Эффективная работа биофильтров обеспечивается за счет распределения очищаемого воздуха по всей фильтрующей поверхности, равномерных влажности и плотности фильтрующего слоя, поддержания оптимальных температур (25-35°C) и значений pH, равных 6,5-8,5.

Заканчивая рассмотрение общих принципов улавливания и обезвреживания газовых примесей, отметим, что выбор метода газоочистки и его аппаратного оформления определяется технико-экономическими расчетами и зависит от ряда факторов: концентрации загрязнителя в очищаемом газе и требуемой степени очистки, зависящей от фонового загрязнения атмосферы в данном регионе; объемов газов и их температуры; массы сопутствующих газообразных примесей и пыли; потребности в тех или иных продуктах утилизации, сорбентах и катализаторах; размеров площадей, необходимых для строительства газоочистной установки; наличия теплоносителей и т.д.

Главный принцип, который необходимо выдерживать при проектировании очистных сооружений, — это максимально возможное удер-

жание вредных веществ и тепловых выбросов, возврат их в основной технологический процесс или утилизация.

3.5. Рассеивание выбросов

При наличии систем пылеулавливания и газоочистки большая часть загрязнителей атмосферы задерживается ими. Неуловленные вредности, в том числе и из неочищенных газовых объемов, выбрасываются в атмосферу. Источники выбросов классифицируют по нескольким признакам. Различают организованные и неорганизованные, нагретые и холодные, линейные и точечные, затененные и незатененные, а также другие типы выбросов.

Организованные выбросы являются контролируемыми и удаляются по искусственно локализованным маршрутам. К ним относят выбросы через газоходы, трубы, вентиляционные системы и т.п. *Неорганизованные выбросы* не контролируют. Это пыле- и газовыделение технологического оборудования, транспортных устройств, погрузочно-разгрузочных узлов и т.д.

Точечные источники — это выбросы загрязнителей в одном узко сосредоточенном месте, имеющем сопоставимые по размерам длину и ширину. К такому типу относят, например, выбросы труб, шахтных и вентиляционных стволов. Выделяющиеся из точечных источников вредные вещества при рассеивании не должны накладываться одно на другое на расстоянии двух высот здания (с заветренной стороны).

Линейные источники имеют значительную протяженность в направлении, перпендикулярном к ветру. Это аэрационные фонари, открытые окна, близко расположенные вытяжные шахты и крышные вентиляторы.

Незатененные (или высокие) источники свободно расположены в недеформируемом потоке ветра. К ним относят высокие трубы, а также другие точечные источники, удаляющие загрязнители на высоту, превышающую 2,5 высоты здания.

Затененные (или низкие) источники расположены в зоне подпора или аэродинамической тени, образуемой на здании или за ним на высоте, равной или меньшей 2,5 его высоты, при обдувании ветром.

К выбросам в атмосферу предъявляют определенные требования по концентрации пылевых и газовых загрязнителей.

Концентрация пыли в газовых выбросах не должна превышать ее предельно допустимой концентрации $C_{п}$, мг/м³ (СНиП 2.04.05-86 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»). В свою очередь, последняя зависит от объема L выбрасываемого воздуха,

тыс. м³/ч. При L более 15 тыс. м³/ч $C_{п} = 100k$. При меньших объемах $C_{п} = k(160 - 4L)$, где k — коэффициент, зависящий от ПДК_{р.з.} пыли:

$$\frac{\text{ПДК}_{\text{р.з.}}, \text{ мг/м}^3}{k} \quad \leq 2 \quad > 2 \div 4 \quad > 4 \div 6 \quad > 6 \div 10$$

$$k \quad \quad \quad 0,3 \quad \quad 0,6 \quad \quad 0,8 \quad \quad 1,0$$

При газообразных выбросах должны соблюдаться приземные концентрации индивидуальных i-х примесей и их предельные суммы, т.е. выполняться условия, вытекающие из выражений (2.1) и (2.2).

При выбрасывании загрязнений из высоких источников промышленных выбросов можно выделить три зоны в направлении их распространения: переброс факела выбросов, характеризующийся относительно небольшим содержанием вредных веществ в приземном слое атмосферы; задымление с максимальным содержанием вредных веществ; постепенное снижение уровня загрязнения (рис. 3.14). Зона задымления является наиболее опасной для населения и должна быть исключена из селитебной застройки. Длина этой зоны в зависимости от метеорологических условий составляет 10-49 высот труб. Достаточно рядовые трубы предприятий металлургии и ТЭС имеют высоту порядка 150-200 м. Высота трубы медно-никелевого комбината в г. Садберн (Канада) равна 407 м.

На рассеивание выбросов существенно влияют состояние атмосферы, расположение предприятий и источников выбросов, характер местности, физические и химические свойства выбрасываемых веществ, высота источников, диаметр устья и т.п. Рассмотрим воздействие некоторых из этих факторов на горизонтальное и вертикальное перемещения примесей, создающие общий эффект от их рассеивания.



Рис. 3.14. Распределение концентрации вредных веществ в атмосфере от организованного высокого источника выбросов

Горизонтальное перемещение примесей определяется в основном скоростью ветра, а вертикальное — распределением температур по высоте атмосферы.

В последнем случае повышение температуры выбрасываемых газов увеличивает разность плотностей их и окружающего воздуха, а следовательно, подъемную силу и вертикальную скорость выбросов.

Это способствует их лифтингу на большую высоту, рассеиванию на увеличенном пространстве, снижению приземных концентраций загрязнителей. Такое же влияние оказывают высота трубы и количество выбрасываемых в единицу времени объемов газов. Вертикальные потоки оказывают решающее влияние на рассеивание в условиях безветрия.

При ветре основную роль в рассеивании играют горизонтальные потоки. Высокие его скорости способствуют более низким приземным концентрациям примесей, поскольку разбавление вдоль оси струи пропорционально средней скорости ветра. Одновременно уменьшается высота факела над устьем трубы. В связи с последним введено понятие *опасной скорости ветра*, при достижении которой приземные концентрации повышаются. Чтобы предотвратить отклонение струи вблизи устья трубы, скорость выброса газа должна вдвое превышать опасную скорость ветра на уровне устья.

Помимо загрязнений, попадающих в атмосферу из высоких незатененных источников, значительная их часть, особенно в машиностроении, коммунальном хозяйстве, бытовом секторе, поступает из низких затененных источников. Картина распространения таких загрязнений отличается от рассмотренной. Затенители (здания, сооружения и т.п.) изменяют направление и скорость ветра, образуя зоны циркуляции и зоны повышенных скоростей. Для этих случаев также разработаны методы расчета, позволяющие определить значения и места нахождения максимальных концентраций примесей в заветренной или циркуляционной зонах (*Шаприцкий*).

В целом рассеивание вредных веществ в атмосфере — это вынужденное мероприятие, которое в настоящее время осуществляется потому, что очистные устройства не обеспечивают полного задержания выбросов вредных веществ. И то одна то другая сопредельные территории, в зависимости от направления господствующего ветра, обмениваются выбросами на одной и той же суммарной площади.

3.6. Планировка предприятий и санитарно-защитные зоны

Видное место в системе охраны воздушного бассейна от выбросов загрязнителей занимают планировочные мероприятия, позволяющие существенно снизить воздействие выбросов на работающих и жилые зоны. Среди этих мероприятий особое внимание необходимо уделять взаимному расположению производственных зданий по отношению друг к другу и жилым массивам, выбору площадок для промышленных предприятий, созданию санитарно-защитных зон.

На промышленной площадке следует выдерживать определенные расстояния между отдельными производственными корпусами, чтобы загрязняющие вещества не накапливались в межкорпусных пространствах, которые при недостаточных промежутках между зданиями оказываются в зоне аэродинамической тени. Так, при удалении вредных веществ через аэрационные фонари расстояние от впереди стоящего здания по господствующему направлению ветра должно составлять около десяти его высот.

Здания и сооружения предприятий обычно располагают по ходу производственного процесса. При этом цехи, выделяющие наибольшее количество вредных примесей, целесообразно строить на краю производственной территории со стороны, удаленной от жилого массива. Кроме того, взаимное размещение цехов должно быть таким, чтобы при направлении ветров в сторону жилых кварталов не происходило объединение их выбросов.

Основой планировочных мероприятий является выбор оптимального взаимного расположения предприятий и населенных пунктов. Последнее должно определяться средней годовой розой ветров. Предприятия-загрязнители необходимо размещать за чертой населенных пунктов и с подветренной стороны, чтобы выбросы уносились в сторону от жилых кварталов. При неровном рельефе местности промышленный объект следует строить на возвышенном месте, хорошо продуваемом ветрами. Площадка жилой застройки не должна быть выше площадки предприятия, иначе преимущества высоких труб для рассеивания выбросов практически сводятся на нет.

Предприятия, выделяющие в окружающую среду вредные и неприятно пахнущие вещества, необходимо отделять от жилой застройки санитарно-защитными зонами. Последние охватывают территорию между границами промплощадки, складов открытого и закрытого хранения материалов и реагентов, предприятий сельского хозяйства (с учетом перспектив их развития) — с одной стороны, и селитебной застройки — с другой. СЗЗ являются частью санитарного разрыва. Он определяется как территория между источником выделения производственных вредностей (физических, химических, биологических) и границей, на которой влияние этих веществ не превышает 5% от соответствующих гигиенических нормативов.

Размеры СЗЗ определяются мощностью предприятия, условиями осуществления технологического процесса, характером и количеством выделяющихся в окружающую среду веществ. По совокупности этих показателей предприятия разделены на классы опасности (КОП):

$$КОП = \left(\sum_{i=1}^n \frac{M_i}{ПДК_i} \right)^a \quad (3.24)$$

где M_i — масса i -го вещества в выбросе;
 $ПДК_i$ — среднесуточное ПДК i -го вещества;
 n — количество загрязняющих веществ;
 a — безразмерная величина приведения степени вредности i -го вещества к вредности SO_2 .

Значения a для веществ в зависимости от их класса опасности: 1 — 1,7; 2 — 1,3; 3 — 1; 4 — 0,9 (см. также табл. 2.3).

Предприятия по величине КОП классифицируют: I класс $> 10^6$; II — 10^6-10^4 ; III — 10^4-10^3 ; IV $< 10^3$.

Ширина СЗЗ определяется классом предприятия (СанПиН 2.2.1/2.1.1-1200-03):

Класс	I	II	III	IV	V
Ширина СЗЗ, м	1000	500	300	100	50

К первому классу относятся, например, металлургические комплексы, предприятия микробиологической промышленности — производство БВК (белкового витаминного концентрата) на основе парафинов нефти, этанола, метанола, природного газа, микробиологический синтез аминокислот, производство антибиотиков, дрожжей, древесного спирта. К четвертому и пятому классам принадлежат машиностроительные заводы. Их можно размещать в пределах жилых районов. Предприятия I-III классов запрещено располагать среди жилой застройки даже при соблюдении необходимых размеров СЗЗ.

При неблагоприятных аэрологических условиях рассеивания выбросов в атмосферу, при сосредоточении в одном районе ряда крупных предприятий-загрязнителей, при отсутствии или недостаточной эффективности очистных устройств ширина санитарно-защитных зон по совместному решению Главного санитарно-эпидемиологического управления Минздрава и Госстроя России увеличивается до трех раз.

Размеры санитарно-защитной зоны могут быть уменьшены при изменении или усовершенствовании технологии, при внедрении высокоэффективных очистных устройств.

Во всех случаях достаточность размеров СЗЗ, в том числе и соответствие нормативным показателям, должна проверяться расчетом приземных концентраций. Если при этом выявлено, что санитарные нормы на границе зоны с жилым районом не обеспечиваются, разрабатываются дополнительные мероприятия, направленные на снижение приземных концентраций.

Помимо ветровой характеристики района, при определении границ и размеров санитарно-защитных зон необходимо учитывать информацию о величине загрязнения почв.

В СЗЗ запрещено размещение объектов для проживания людей. Она или какая-либо ее часть не могут рассматриваться как резервная территория объекта и использоваться для расширения промышленной или жилой территории. Вместе с тем в ней допустимо размещение объектов более низкого класса вредности, чем основное производство, для которого установлена санитарно-защитная зона, а также пожарных депо, гаражей, складов, административных зданий, научно-исследовательских лабораторий, стоянок транспорта и т.п.

Санитарно-защитные зоны подлежат озеленению газоустойчивыми породами деревьев и кустарников. При прохождении промышленных выбросов через озелененную зону концентрация содержащихся в них пыли и газов должна уменьшиться не менее чем вдвое. Зеленые насаждения особенно эффективны для локализации неорганизованных выбросов пыли и выделений дыма из низких труб. Если вокруг предприятий растет хвойный лес, то его деревья по мере их усыхания заменяют лиственными породами. Озеленение СЗЗ не производится с тех сторон предприятия, где жилая застройка отсутствует. Величина озеленения СЗЗ зависит от класса предприятий, к которым она относится, и составляет, %: для предприятий IV и V классов — не менее 60; II и III — не менее 50; I класса — не менее 40.

Недостаточно продуманная система посадки зеленых насаждений может привести к отрицательному эффекту. Создание сплошного лесного массива в санитарно-защитной зоне при низких источниках выброса вредных веществ, с одной стороны, максимально уменьшает опасность неблагоприятного воздействия предприятий на население, а с другой — может способствовать застоным явлениям и росту концентраций вредных веществ непосредственно на промышленной площадке из-за ухудшения естественной проветриваемости территории.

Для предотвращения последнего при размещении зеленых насаждений в СЗЗ устраивают своеобразные коридоры, соответствующие габаритам промплощадок. В них размещают продольные древесно-кустарниковые полосы одноструктурного построения шириной 22,5 м. В каждой полосе десять деревьев, расположенных на расстоянии 2,5 м друг от друга, причем два центральных дерева (пятое и шестое) — наиболее высокие, рост остальных понижается к краям полосы. Количество продольных полос в коридоре определяется общей его шириной, соответствующей габаритам промплощадки, и величиной межполосного разрыва (100-120 м) — рис. 3.15.

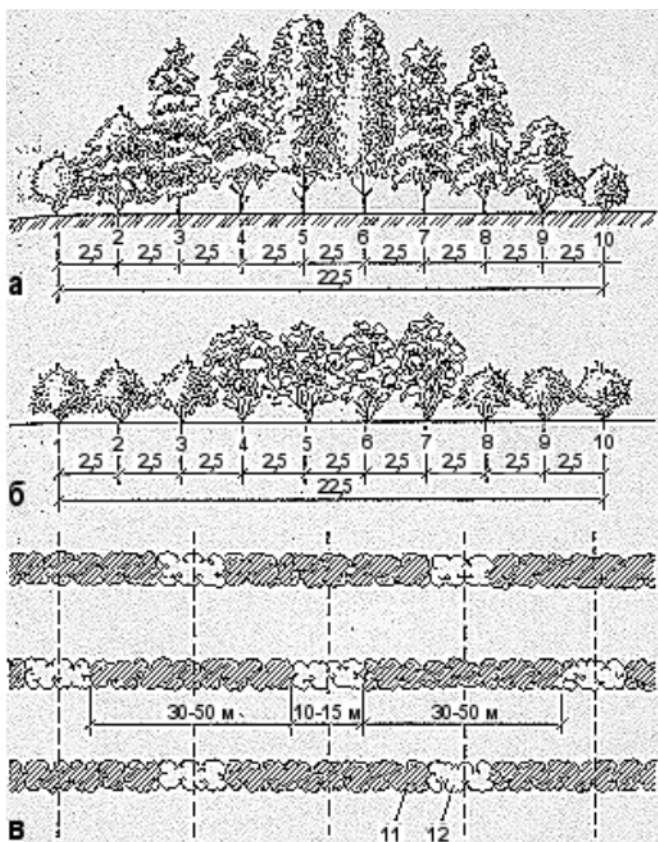


Рис. 3.15. Построение полос зеленых насаждений в санитарно-защитных зонах:

- а — первый тип полос; б — второй тип полос; в — организация разрывов в полосах второго типа; 1-10 — номера рядов полос; 11 — древесно-кустарниковый участок полосы; 12 — кустарниковый участок полосы

Поперечная по отношению к полосам коридоров система защитных полос на территории СЗЗ имеет ту же ширину (22,5 м), что и полосы коридоров. Через каждые 30-50 м полосы в ней устраивают 10-15-метровые разрывы, роль которых выполняют посадки, состоящие из высоких, средних и низких кустарников. Разрывы между параллельными древесно-кустарниковыми защитными полосами составляют 40-50 м. Они используются под посевы наиболее газоустойчивых трав, а также для сельского хозяйства, садоводства и огородничества.

Защита водного бассейна

4.1. Общие вопросы водоснабжения

Водоснабжение населенных мест, промышленных, транспортных и сельскохозяйственных предприятий является одной из важнейших народнохозяйственных задач. Комплекс сооружений, осуществляющих водоснабжение, т.е. получение воды из природных источников, ее очистку, транспортирование и подачу потребителю, называется *системой водоснабжения* или *водоотводом (водообеспечением)*.

Первые сведения об искусственных сооружениях для добывания воды относятся к колодцам, строившимся еще за 3 тыс. лет до н.э. (Египет, Китай). Современные системы водоснабжения представляют собой сложный комплекс разнообразных устройств, обеспечивающих требуемое количество воды надлежащего качества. Обычно они включают следующие сооружения:

- водоприемные, при помощи которых вода забирается из природных источников;

- водоподъемные (насосные станции), подающие воду по трубам к местам ее очистки, хранения или потребления;

- очистные;

- водоводы и сети труб для подачи воды к местам ее потребления;

- башни и резервуары для создания запасов воды или регулирования напоров и расходов.

Общая схема водоснабжения сводится к следующему (рис. 4.1). Вода после забора из источника при помощи водоприемного сооружения 1 подается насосами первого подъема, установленными на станции 2а, к очистным сооружениям 3. После них она поступает в сборный резервуар 4, из которого насосами второго подъема станции 2б по водоводам 5 перекачивается в сеть труб 6, разводящих воду к местам потребления.

В зависимости от местных природных условий, характера потребления воды, по ряду экономических соображений представленная схема водоснабжения и составляющие ее элементы могут существенно измениться. Так, водонапорную башню 7 располагают в начале сети, в конце или в какой-либо ее промежуточной точке. Насосы первого и второго подъема размещают в отдельных зданиях или объединяют в одном строении. Иногда насосы первого подъема устанавливают непосредственно в водоприемных сооружениях. В некоторых случаях очи-

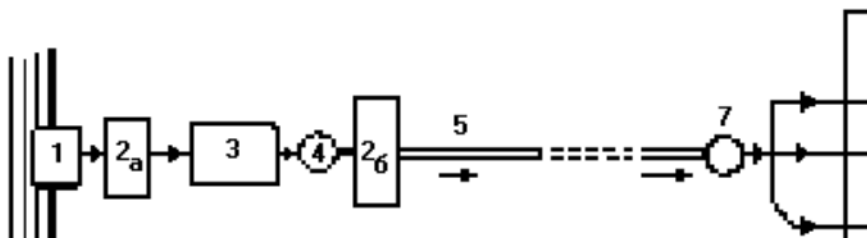


Рис. 4.1. Общая схема водоснабжения

стой комплекс и связанные с ним резервуар и насосную станцию второго подъема строят не возле источника, а вблизи потребителя воды (город, поселок, промышленное предприятие и т.д.).

В качестве источника водоснабжения используют открытые водоемы (реки, озера, пруды), подземные источники (грунтовые и артезианские воды, родники), в некоторых случаях — моря.

Характер источника влияет на всю схему водоснабжения в целом. В частности, сопоставление качества воды данного источника и требований потребителя определяет необходимые степень и способы очистки воды. Так, к воде для хозяйственно-питьевых нужд прежде всего предъявляют требования санитарно-гигиенического порядка. Она должна быть безвредной и прозрачной, не содержать болезнетворных бактерий, не иметь запахов и дурных привкусов. Нередко таким требованиям удовлетворяет вода подземных источников, которая в этом случае подается потребителю без очистки. Вода открытых водоемов часто мутна, загрязнена поверхностными стоками, значительным количеством бактерий, т.е. неудовлетворительна в санитарном отношении и при использовании для хозяйственно-питьевых целей нуждается в предварительной очистке.

При водоснабжении промышленных предприятий в ряде случаев также необходимо предварительное улучшение качества воды (снижение ее жесткости, мутности и т.п.).

Водоснабжение крупных объектов нередко осуществляется от нескольких источников, например открытых и подземных. Если объекты расположены в маловодной местности, то иногда приходится использовать весьма отдаленные источники и подавать воду на десятки и даже сотни километров.

Источники водозабора должны защищаться зоной санитарной охраны, которая делится на три пояса (СанПиН 2.1.4.027-95).

В первом (зона строгого режима) запрещено проживание и временное нахождение лиц, не связанных с работой на водопроводных

сооружениях, а также строительство, за исключением востребованного техническими нуждами самого водопровода.

Второй пояс (зона ограничения) охватывает территорию, непосредственно окружающую источники водоснабжения и их притоки. В этом поясе запрещено такое использование территории или источников водоснабжения, которое может вызвать качественное или количественное ухудшение последних.

Третий пояс (зона наблюдения) охватывает смежную со вторым поясом территорию, неблагоприятное состояние которой может вызвать распространение инфекционных заболеваний через водопроводные сети.

Всем без исключения предприятиям и учреждениям запрещается спускать загрязненные сточные воды в границах зоны санитарной охраны, а также в пределах территории населенных пунктов.

Рассмотренная общая схема водоснабжения охватывает лишь наиболее распространенные варианты. На практике приходится встречаться с большим разнообразием схем, обусловленным местными условиями и различными требованиями потребителей. Особенно это относится к водопроводу промышленных предприятий.

Водоснабжение промышленных предприятий может быть прямоточным (рис. 4.2, а), последовательным (рис. 4.2, б) и оборотным (рис. 4.3, а, б, в).

При *прямоточном водоснабжении* забираемая из водоема вода после проведения технологического процесса возвращается в водоем, за исключением воды, безвозвратно теряемой в производстве.

Последовательное водообеспечение может быть двух-трехкратным, а количество сбрасываемых сточных вод уменьшается в соответствии с

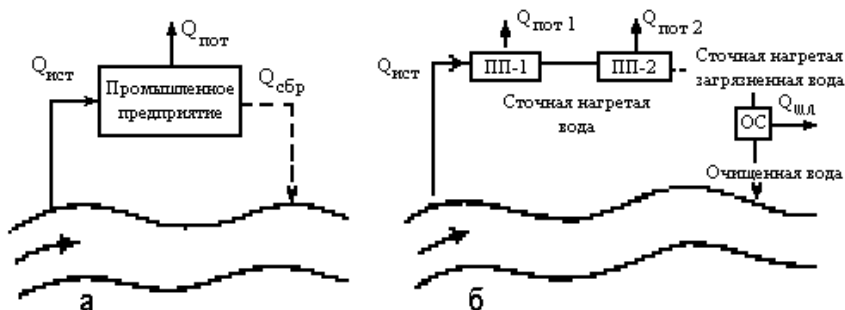


Рис. 4.2. Схема прямоточного (а) и последовательного (б) водоснабжения:

$Q_{сбр}$ — сточная нагретая вода; $Q_{ист}$ — вода из водоема; $Q_{пот}$ — безвозвратно расходуемая вода; $Q_{шл}$ — вода, удаляемая со шламом; ПП-1, ПП-2 — промышленные предприятия; ОС — очистные сооружения

безвозвратными потерями на всех стадиях производства. При их прохождении дополнительно через очистные сооружения потери возрастают на количество вод, теряемых со шламами.

При *оборотном водоснабжении* промышленных предприятий возможны схемы с охлаждением (рис. 4.3, а), очисткой сточных вод (рис. 4.3, б) и комбинированные с одновременными очисткой и охлаждением (рис. 4.3, в).

В первом случае вода является только теплоносителем и в процессе использования лишь нагревается. Поэтому перед повторным применением ее предварительно охлаждают в пруду, брызгальном бассейне, градирне и т.д. (рис. 4.3,а). В случае непосредственного использования воды в технологическом процессе (реакционная среда, растворитель и др.) сточные воды перед повторным применением обрабатывают на очистных сооружениях (рис. 4.3,б). При комбинированном использовании их перед повторным употреблением очищают и охлаждают.

Для компенсации безвозвратных потерь воды при применении систем оборотного водоснабжения (на охладительных установках, в кана-

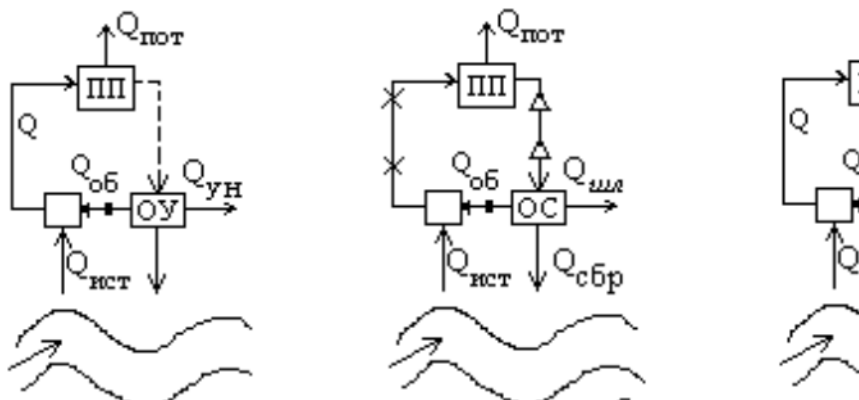


Рис. 4.3. Схема оборотного водоснабжения промышленных предприятий:

а — с охлаждением сточных вод; б — с очисткой сточных вод; в — с очисткой и охлаждением сточных вод; 1 — вода свежая чистая ненагретая; 2 — сточная вода нагретая; 3 — то же, ненагретая и загрязненная; 4 — то же, очищенная; 5 — сточная вода загрязненная; 6 — оборотная вода; ПП — промышленное предприятие; ОУ — охладительные установки; ОС — очистные сооружения; $Q_{\text{пот}}$ — вода, подаваемая на производственные нужды; $Q_{\text{об}}$ — оборотная вода; $Q_{\text{ун}}$ — вода, теряемая на испарение и унос из охладительных установок

лизацию, в процессе производства) осуществляют подпитку из открытых водоемов и других источников. Ее, в зависимости от условий, можно проводить постоянно или периодически. Количество добавленной воды составляет, как правило, 5-10% общего ее объема, циркулирующего в системе.

В зависимости от назначения объекта, требований потребителей к качеству воды и экономических условий, она может подаваться общим водопроводом или отдельным (для основных категорий водопотребителей). В городах обычно функционирует единый хозяйственно-противопожарный водопровод. Он же подает воду для хозяйственно-питьевых нужд промышленных объектов, расположенных в городе, и для технологических нужд тех из них, которым требуется вода такого же качества, как питьевая, например для пищевой промышленности.

Для промышленных предприятий в черте города, технологии которых не требуют воды питьевого качества, устраивают самостоятельные водопроводы. В отдельных случаях, особенно при небольших расходах, такие объекты, если для них невыгодно строительство специального водопровода, также могут получать воду из городской сети.

На самом предприятии прокладывают как общие, так и отдельные системы подачи воды для производственных и хозяйственно-питьевых нужд. Пожарный водопровод строят самостоятельным или совмещают с системой хозяйственно-питьевого или, значительно реже, производственного водоснабжения.

Для всех пользователей расход воды определяется по нормам водопотребления. Они регламентируют расход хозяйственно-питьевой воды в сутки на одного жителя или на одного работника предприятия, а расход воды для производственных целей — на единицу выпускаемой продукции или на один производственный агрегат в единицу времени.

За нормы водопотребления принимают оптимальное количество воды, необходимое для производственного процесса. Его устанавливают на основе передового опыта или научно обоснованного расчета.

Нормы водопотребления в различных отраслях производства изменяются в широких пределах и на единицу готовой продукции или исходного сырья составляют, м³/т: производство цемента — 0,1; добыча угля и нефти — 0,3 и 0,4; производство удобрений, бумаги, сульфитной целлюлозы — соответственно 3,9; 37 и 218; проката — 300; цветных металлов — 4000; продуктов растениеводства (с влагой почвы) — до 1 млн.

Водопотребление, не связанное с производственными нуждами, также весьма значительно. Так, суточный расход воды на одного жителя России составляет около 250 л, в Москве — до 450 л, в сельской местности — менее 100 л.

В настоящее время предприятия водоснабжения являются крупными хозяйственными объектами. В Российской Федерации практически полностью централизовано водоснабжение городов (98%), 81% поселков городского типа и 64 — сельского. Общая протяженность коммунальных водопроводных сетей составляет более 460 тыс. км, ее мощность около 90 млн м³/сут. Источники централизованного водоснабжения в 62-67% случаев подают поверхностные воды, а в остальных — подземные.

Качество воды во многих случаях неудовлетворительно. Из более чем 104 тыс. подземных и 2 тыс. поверхностных источников водоснабжения РФ соответственно около 17 и 41% из них в 2004 г. не отвечали санитарным правилам и нормам, в основном (до 90%) из-за отсутствия зон санитарной охраны. Свыше 35% водопроводов не снабжены комплексами необходимых очистных сооружений, 17% — обеззараживающими установками.

Положение усугубляется высоким износом оборудования и сетей водоснабжения (62% в 2001 г.). Это обуславливает утечки и неучтенные расходы воды в среднем по России более 15%. Они могут быть практически ликвидированы за счет совершенствования санитарно-технической аппаратуры, снижения избыточного давления в заводомерных и внутридомовых сетях, устранения утечек горячей и холодной воды, установки регуляторов ее расхода и квартирных водосчетчиков.

Внедрение подобных мероприятий позволяет снизить удельное водопотребление в новых микрорайонах с 395 до 216, а в микрорайонах старой застройки — с 628 до 392 л/(чел.·сут) против 100-200 л в западноевропейских странах. В частности, в ФРГ оно составляет около 130 л/(чел.·сут), и может быть снижено на 20% за счет повторного использования сточных вод, например после душа (ванны) — для смыва туалета (Nolde).

В целом можно полагать, что в последние годы микробиологические и санитарно-химические показатели качества воды стабилизировались, но на недостаточно высоком уровне. В 2001-2004 гг. санитарно-химическим требованиям не соответствовало до 19,5% проб воды, микробиологическим — 7,3%.

Суммарное мировое водопотребление в 1995 г. достигло 3750 км³, в том числе безвозвратные потери — 2280 км³. В нашей стране забор воды из природных водных объектов в 2003 г. составил 82,4 км³. При этом свежей воды было использовано 64,1 км³, в том числе из поверхностных источников — 50,1; подземных — 8,5; морских — 5,5. Структура водопотребления, %: производство — 58,7; хозяйственно-питьевые нужды — 20,5; орошение — 13,1; сельское хозяйство — 1,4; другое — 6,3.

Потери воды во внешних сетях при транспортировке от водоисточников до водопотребителей достигали 8,4 км³. Значительны потери воды в промышленных отраслях народного хозяйства. В коммунальном секторе утечки и неучтенный расход воды составили 15,7%.

4.2. Водоотведение

4.2.1. Классификация сточных вод

Прямой сброс в водный бассейн использованной в быту и в сфере материального производства воды приводит к его загрязнению.

Источники загрязнения и загрязняющие агенты многочисленны и разнообразны, поэтому водный бассейн требует столь же существенных мер защиты от загрязнения, как и воздушный.

Под *загрязняющим агентом* водного бассейна понимают материальные субстанции (химические соединения, микроорганизмы, тепло), нарушающие нормы качества воды. Соответственно объекты, из которых они поступают, являются *источниками загрязнения*. Подавляющее большинство последних — техногенного происхождения. Среди них доминируют сбросы в водоемы сточных вод субъектами природопользования (предприятиями промышленности, коммунальными, сельскохозяйственными).

Физико-механические и биологические свойства сточных вод весьма различны. Основное влияние на них оказывают вид технологического процесса и перерабатываемого сырья, состав исходной воды, местные условия. Представление об уровне отдельных показателей, определяющих эти свойства, можно получить на примере стоков гидролизного завода, которые при рН 5,5 содержат, мг/л: плотный остаток — 8600; взвешенные вещества — 950; азот аммонийный — 150; фосфаты — 40; фурфурол — 50; БПК₅ — 2400; БПК_{полн} — 3300; ХПК — 4900.

Многообразие свойств, состава, источников сточных вод породило их классификацию по различным признакам.

Все *сточные воды* по источнику образования могут быть разделены на производственные, бытовые и атмосферные.

К *производственным* относят сточные воды технологических процессов (промышленных, сельскохозяйственных, транспортных и т.д.) изготовления и перемещения материальных благ.

В *бытовые* входят стоки от санитарных узлов, душевых и им подобных установок технологических производств, все стоки предприятий сферы услуг, коммунального хозяйства, жилищного фонда.

Атмосферные стоки представлены потоками дождя и тающего снега.

В зависимости от *степени загрязнения*, сточные воды, сбрасываемые в водоем, делят на незагрязненные (условно чистые), нормативно очищенные и без очистки (загрязненные).

К *условно чистым* относят такие стоки, которые не приводят к изменениям физико-химического состава водоема в месте сброса. Они не требуют предварительной очистки.

Нормативно очищенными называют прошедшие очистку стоки, сброс которых не приводит к изменению качества воды в водоеме. Содержание загрязняющих веществ в них соответствует предельно допустимым концентрациям.

К *загрязненным* относят стоки, сброшенные без очистки или недостаточно очищенные, содержащие загрязняющие вещества выше предельно допустимых норм.

По *генезису примесей* стоки классифицируют на загрязненные преимущественно неорганическими (металлургические и цементные заводы, предприятия основной химической промышленности и т.п.), органическими (нефтехимия, органический синтез), смешанными, т.е. органическими и неорганическими (нефте- и газодобыча), примесями, а также микроорганизмами (бактериями, вирусами), наиболее характерными для биохимических и биологических процессов.

По *концентрации загрязняющих веществ* производственные сточные воды подразделяют на четыре группы: I — 500, II — 501-5000, III — 5001-30000, IV — более 30 тыс. мг/л.

По *степени агрессивности* различают *неагрессивные* (рН 6,5-8,0), *слабоагрессивные* (рН 6,0-6,5 и 8-9) и *сильноагрессивные* (рН менее 6 и более 9) стоки. Это деление совпадает с представлениями соответственно о нейтральных, слабокислых и слабощелочных, сильнокислых и сильнощелочных средах.

Известна также классификация примесей воды, разработанная Л.Кульским. В ее основу положена *степень дисперсности* примесей и *однородности* стоков. Однако в ней допущены неточности в делении понятий. Например, в группу с размером частиц 10^{-3} - 10^{-4} см помещены грубодисперсные примеси и одновременно — суспензии (система Т-Ж) и эмульсии (система Ж-Ж), которые являются частными случаями более дисперсных коллоидных примесей. Нельзя также относить к молекулярно-дисперсным частицы с размером порядка 10^{-6} - 10^{-7} см, так как молекулярные размеры находятся в диапазоне 10^{-8} см. Таковы же и размеры ионов, но, по Л.Кульскому, они составляют 10^{-7} см. Эти и другие определения не соответствуют классификации систем по степени их дисперсности и фазовому составу, принятой в коллоидной химии. Однако система Л.Кульского содержит неоспоримую идею зависимости применяемых способов очистки сточ-

ных вод от дисперсности и состава содержащихся в них примесей. Используя эту ее сильную сторону, можно предложить следующую классификацию примесей по степени дисперсности и методам удаления из сточных вод:

1) *грубодисперсные и микрогетерогенные системы* с размером частиц примесей более 10^{-5} см. Последние представлены всеми видами веществ неживой природы, планктоном и бактериями. Методы очистки: механические безреагентные (седиментация, центрифугирование, фильтрация), сорбция, флокуляция, флотация, энергетическое воздействие (ультразвуковое, ультрафиолетовое излучение и др.);

2) *ультрамикрогетерогенные системы* (коллоидные растворы) с размером частиц 10^{-5} - 10^{-7} см. Эти системы также включают все виды веществ неживой природы и, дополнительно, вирусы. Методы очистки: сорбция, флокуляция, коагуляция для веществ неживой природы, ультразвуковая обработка, ультрафиолетовое облучение и другие методы при воздействии на вирусы;

3) *растворы* (размер примесей 10^{-8} см). Примеси в данном случае присутствуют в молекулярной, атомной (например, газы) и ионной формах. Методы очистки: сорбция, экстракция, окисление, электролиз, обратный осмос, нейтрализация с переводом примесей в осадок или малодиссоциированные соединения, биохимическая очистка.

4.2.2. Общая система канализации и количество сточных вод

Удаление сточных вод от объектов водопотребления осуществляется с помощью *систем канализации* — комплекса инженерных сооружений, предназначенных для приема, отведения, очистки и утилизации этих вод, сброса их в водоемы. Она включает следующие основные элементы: а) внутренние канализационные устройства; б) наружные канализационные сети; в) насосные станции и напорные водоводы; г) сооружения для очистки и утилизации сточных вод; д) выпуски в водоем.

Внутренняя канализационная сеть служит для приема сточных вод и отведения их за пределы здания.

В жилых и общественных зданиях внутренние домовые канализационные устройства состоят из приемников — санитарных приборов (унитазов, писсуаров, раковин, умывальников, моек, ванн и пр.), а также из сети отводных труб, стояков и выпусков. Приемники располагают в специальных помещениях (санитарных узлах), кухнях, прачечных и т.п.

В производственных помещениях внутренняя (цеховая) канализация устраивается или в виде сети труб, аналогичной внутренней домовой, или сделанных в полу и располагаемых у производственных аппаратов и машин открытыми или закрытыми сверху (бетонными плитами, рифленой листовой сталью) лотков, трапов и воронок.

Из внутренней канализации сточные воды поступают в наружную канализационную сеть. Она представляет собой разветвленные подземные коммуникации труб и каналов, самотеком отводящие стоки к насосной станции, очистным сооружениям или в водоем. В зависимости от назначения, места укладки и размеров, наружную канализацию называют дворовой, внутриквартальной, заводской, уличной, коллекторами, каналами. Дворовая объединяет выпуски из отдельных зданий. Внутриквартальная охватывает выпуски группы зданий или зданий квартала в целом. Заводская прокладывается по территории предприятий и принимает сточные воды от цехов и зданий. Уличная собирает сточные воды дворовых и внутриквартальных сетей.

Коллекторы представляют собой участок канализационной сети, принимающий сточные воды двух и более уличных линий или заводских сетей. Их подразделяют на несколько видов:

коллекторы бассейна канализования, объединяющие канализационную сеть всего бассейна, т.е. территории, ограниченной водоразделами;

главные коллекторы, объединяющие два или несколько коллекторов бассейнов канализования;

загородные, или отводные, коллекторы, перемещающие сточные воды транзитом (без присоединения) за пределы объекта канализования к насосным станциям, очистным сооружениям или местам выпуска в водоем.

В крупных городах с сильно развитой городской сетью коллекторы больших размеров нередко называют каналами.

На очистные сооружения, если позволяет рельеф местности, сточные воды поступают самотеком. В противном случае в пониженных местах рельефа устраивают насосные станции, или станции перекачки, подающие стоки на очистные сооружения или на более высокую отметку, откуда они затем самотеком поступают к месту их очистки.

В зависимости от назначения, станции подразделяют на: *местные* для перекачки сточных вод одного или нескольких отдельных неблагоприятно расположенных объектов канализования; *районные*, передающие сточные воды отдельных районов или бассейнов канализования; *главные*, перекачивающие основную часть или все количество стоков канализуемого объекта. Участок канализационной сети, по которой сточные воды подаются от насосной станции до самотечного канала или очистных сооружений, называют *напорным водоводом*.

Очистные сооружения предназначены для удаления из стоков загрязнителей до уровня, при котором они не оказывают вредного влияния на принимающий водоем.

Выпуск представляет собой канал, отводящий сточные воды в водоем после очистных сооружений. Имеются также *аварийные выпуски*, устраиваемые на каналах или коллекторах перед насосной станцией для сброса стока в водоем без очистки при аварии на насосной станции.

Выпускные каналы крупных городов представляют собой внушительные инженерные сооружения, требующие больших капитальных затрат. Так, водоотводящая система Чикаго и его пригородов включает глубокие тоннели общей протяженностью 230 км и стоимостью около 3,5 млрд дол. На отдельных участках тоннели диаметром до 5 м проложены на глубине 50-100 м (Williams; Final...).

В зависимости от схемы поступления в канализационную сеть основных категорий сточных вод (бытовых, производственных и атмосферных), различают общесплавную, раздельную и полураздельную схемы канализации, а также комбинированную.

Общесплавная канализация принимает все три категории сточных вод. *Раздельная* система предусматривает независимое от бытовых и производственных удаление атмосферных вод (ливневую сеть, водосток). В свою очередь, раздельную схему подразделяют на полную раздельную и неполную раздельную.

При *полной раздельной* системе имеются две и более самостоятельные канализационные сети, по одной из которых отводят атмосферные, а по остальным — бытовые и загрязненные производственные воды.

При *неполной раздельной* системе канализацию строят только для бытовых и загрязненных производственных вод, а атмосферные воды поступают в водоем неорганизованно.

Полураздельная схема имеет две отводящие системы — производственно-бытовую и дождевую.

Схемы канализации зависят от множества факторов, например от рельефа местности, грунтовых условий, места расположения очистных сооружений, разновидности и степени загрязнения сточных вод.

На схему канализации промышленных предприятий влияют, кроме того, размещение цехов, внутризаводской транспорт и насыщенность заводской территории подземными сооружениями различного назначения, в частности производственными коммуникациями.

Масштабы сбросов в водный бассейн значительны. Общая масса жидких отходов в России и других странах СНГ оценивается в 160 млрд т, объем сточных вод РФ составляет 52,3 км³/г. Из них 40% приходится на воду, сбрасываемую без очистки. Объем норма-

тивно очищаемых стоков не превышает $2,3 \text{ км}^3$, или 11% от требующих очистки (2003 г.). Протяженность канализационных сетей составляет 120 тыс. км.

Загрязненные воды распределяются по территории страны неравномерно. Почти половина их попадает в Каспийское море, причем преимущественно из бассейна р. Волга. В последний сбрасывается $1/3$ стоков страны, на его долю приходится ~40% грязных и недостаточно очищенных вод. Около 20% стоков поступает в бассейн Карского моря — в основном в Енисей, Обь и их притоки.

По номенклатуре загрязняющих веществ основное количество в сбрасываемой воде составляют хлориды и сульфаты, а также нитраты, аммонийный азот, фенол, нефтепродукты, соединения меди, цинка и свинца.

Основной объем недоочищенных сточных вод приходится на жилищно-коммунальное хозяйство (почти 50%), далее следуют промышленность (32%) и сельское хозяйство (около 12%).

По составу наиболее разнообразны производственные сточные воды. Это требует большего, чем при бытовом водоотведении, спектра методов их очистки. В настоящее время система канализования крупных промышленных предприятий представляет собой сложный комплекс производственной, хозяйственно-фекальной и ливневой канализации. По этой причине представляется целесообразным наряду со сведениями по общей системе канализации дополнительно рассмотреть некоторые особенности организации водоотведения промышленных предприятий.

4.2.3. Организация водоотведения промышленных предприятий

Количество производственных сточных вод зависит от степени водопотребления и водоотведения, от соответствующих норм на них.

Нормой водоотведения является среднее количество сточных вод, удаляемых из производства в водоем при оптимальном водопотреблении. Норма водоотведения включает количества выпускаемых в открытые водоемы сточных вод (очищенных и неочищенных, производственных и бытовых), а также фильтрационных из прудов-осветлителей, хвостохранилищ, шламонакопителей.

Нормы водоотведения в случаях, когда вода не используется как сырьевой компонент, например в кондитерской промышленности, сопоставимы с нормами водопотребления (разд. 4.1).

Суточное количество $Q_{\text{сут}}$ производственных сточных вод рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{сут}} = NM, \quad (4.1)$$

где N — норма водоотведения на единицу продукции или перерабатываемого сырья с учетом водооборота, м^3 ; M — число единиц продукции или масса перерабатываемого сырья за сутки.

Объем бытовых сточных вод предприятия можно оценить по укрупненным нормам для каждой составляющей расхода отдельно (от душевых, столовых, прачечных и др.). Нормы зависят от характера производства и общего числа работающих и тем выше, чем тяжелее санитарно-гигиенические условия труда на данном предприятии. Последние ухудшаются в ряде: предприятия механосборочные, инструментальные, деревообрабатывающие — прядильные, текстильные — пищевые, фармацевтические, металлообрабатывающие, моечные — металлургия, подземная добыча полезных ископаемых, химическая промышленность. В последней на одного рабочего требуется ежедневно только для душевых примерно 200 л воды.

Расчетный сток дождевых (ливневых) вод определяется в зависимости от местных условий — района нахождения промышленного предприятия, рельефа, степени благоустроенности территории.

Все типы сточных вод промышленного предприятия поступают в его канализационную систему. При этом загрязненные воды должны отводиться несколькими самостоятельными потоками, на которые они делятся в зависимости от вида и концентрации примесей, количества и мест образования стоков. Потоки могут быть преимущественно слабозагрязненными, кислыми, щелочными, солевыми, содержащими масла и жиры, токсичные и ядовитые вещества. Незагрязненные сточные воды, как правило, объединяют в отдельный поток.

Бытовые сточные воды промышленных предприятий могут очищаться совместно или раздельно с производственными, в зависимости от состава и способа очистки последних. Данное обстоятельство определяется тем, что бытовые сточные воды должны подвергаться биохимической очистке во всех случаях. Если производственные стоки ее не требуют, то осуществляется отдельная обработка бытовых вод. Если же они загрязнены органическими веществами или биологическими примесями, то организуется совместное отведение бытовых и производственных сточных вод.

Дождевые воды отводятся самостоятельной сетью (ливневая канализация) или совместно с производственными сточными водами, иногда могут сбрасываться в водоем без очистки.

Из канализационных систем предприятий производственные сточные воды сбрасывают в городскую канализацию или в водоемы.

Сброс в городскую канализацию можно производить при расположении промышленного предприятия в городах или вблизи них. В этом случае осуществляется совместная очистка смеси бытовых и производственных сточных вод на единых очистных сооружениях. Часто системы очистки крупных промышленных предприятий используют и для обработки сточных вод близлежащих населенных пунктов.

К производственным сточным водам, сбрасываемым в городскую канализацию, предъявляют ряд требований. В частности, стоки не должны содержать: более 500 мг/л взвешенных и всплывающих веществ; горючих примесей, а также растворенных газообразных веществ, способных образовать взрывоопасные смеси в канализационных сетях и сооружениях; веществ, засоряющих трубы канализационных сетей или отлагающихся на их стенках; веществ в концентрациях, препятствующих биологической очистке сточных вод или сбросу их в водоем. Они также не должны корродировать материал труб и элементы сооружений канализации и иметь температуру не выше 40°C. Производственные сточные воды, не удовлетворяющие указанным требованиям, следует предварительно очищать, охлаждать или разбавлять до необходимых кондиций.

Условия выпуска производственных сточных вод в водоемы регламентируют «Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод», издаваемые Минздравом, в частности СанПиН 2.1.5-980-00. Выполнение условий контролируют санитарно-эпидемиологические станции. Правила и нормы предусматривают нормативы качества воды для водоемов двух категорий: 1) хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения; 2) рыбохозяйственного назначения. Отнесение их к тому или иному типу производят органы государственного санитарного надзора. Для водоемов в целом и для каждой категории в отдельности разработаны показатели, по которым лимитируется сброс производственных сточных вод, и установлены соответствующие нормативы.

4.2.4. Определение допустимого состава и степени очистки сточных вод

Допустимый состав и необходимая степень очистки сточных вод устанавливаются по всем нормируемым показателям, в частности по количеству взвешенных веществ, величине БПК, растворенного кислорода, рН, температуре, окраске, запаху и солевому составу.

Различают условия выпуска сточных вод в проточные и непроточные водоемы, поскольку условия смешения в них существенно различ-

ны. В непроточных водоемах концентрация примесей хотя и значительно уменьшается уже в начальной зоне смешения, однако полностью оно происходит на значительно большем удалении от места выпуска, чем в проточных водоемах (реках).

Условия выпуска сточных вод в *непроточный* водоем определяют следующим образом.

При наличии только одного вида загрязнителя его допустимая концентрация $C_{\text{загр}}$ на сбросе в незагрязненный водоем, которая должна быть достигнута в результате очистки или другими способами, определяется по выражению:

$$C_{\text{загр}} \leq n \text{ПДК}_{\text{загр}} , \quad (4.2)$$

где n — кратность наименьшего разбавления сточных вод и соответствующего уменьшения концентрации загрязнителя при его перемешивании с водной средой, в которую он выпускается;

$\text{ПДК}_{\text{загр}}$ — предельно допустимая концентрация загрязнителя.

Если в водоеме имеется фоновая концентрация $C_{\text{ф}}$ единичного загрязнителя, то:

$$C_{\text{загр}} \leq n(\text{ПДК}_{\text{загр}} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}} . \quad (4.3)$$

При наличии в водоеме нескольких загрязнителей с фоновыми концентрациями:

$$C_{\text{загр}, i} \leq n(C_{\text{м}, i} - C_{\text{ф}, i}) + C_{\text{ф}, i} , \quad (4.4)$$

где $C_{\text{загр}, i}$ — концентрация i -го загрязнителя в сточных водах, которая должна быть достигнута в результате очистки;

$C_{\text{м}, i}$ — максимально допустимая концентрация i -го вещества с учетом концентраций и ПДК всех i -х веществ, относящихся к одной группе ЛПВ;

$C_{\text{ф}, i}$ — концентрация i -го вещества в воде водоема до сброса сточных вод.

В свою очередь:

$$C_{\text{м}, i} \leq \text{ПДК}_i \left(1 - \sum_{i=1}^{i-1} \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \right) . \quad (4.5)$$

Кратность n наименьшего разбавления равна:

$$n = \frac{C_{\text{загр}, i} - C_{\text{ф}, i}}{C_{\text{м}, i} - C_{\text{ф}, i}} . \quad (4.6)$$

При разбавлениях, больших наименьшего кратного, в формуле (4.6) взамен $C_{\text{м}, i}$ необходимо использовать C_i — концентрацию загрязняющих веществ в водоеме после сброса сточных вод, по физическому смыслу меньшую $C_{\text{м}, i}$.

Условия выпуска сточных вод в *проточный водоем* определяет неравенство:

$$C_{\text{загр},i} Q_{\text{загр}} + C_{\text{ф},i} m Q_{\text{вод}} \leq (m Q_{\text{вод}} + Q_{\text{загр}}) C_{\text{т},i}, \quad (4.7)$$

где m — коэффициент смешения, показывающий, какая часть воды в проточном водоеме смешивается со сточными водами в расчетном отводе;

$Q_{\text{вод}}$ — расход воды в водоеме в единицу времени;

$Q_{\text{загр}}$ — расход стоков вод, поступающих в водоем в единицу времени.

Значение $Q_{\text{вод}}$ определяется по данным гидрометеорологической службы, $Q_{\text{загр}}$ — по технологическим расчетам, $C_{\text{ф},i}$ — на основе натурных измерений или по справочным данным. Коэффициент смешения зависит от многих факторов: конструкции выпуска, расстояния до расчетного отвода, гидравлических характеристик потока, гидрогеологических параметров водоема и др. Он может быть рассчитан по известным формулам (*Яковлев...; Инженерная...*).

Кратность n наименьшего разбавления в проточном водоеме, помимо формулы (4.6), можно определять по выражению (4.8):

$$n = \frac{m Q_{\text{вод}} + Q_{\text{загр}}}{Q_{\text{загр}}}. \quad (4.8)$$

При условии полного смешения сточных вод, когда в нем участвует весь возможный для данного водоема объем V воды, концентрация C_i загрязняющего вещества в водоеме в произвольный момент времени равна:

$$C_i = \frac{t(C_{\text{загр},i} Q_{\text{загр}} + C_{\text{ф},i} \cdot Q_{\text{вод}})}{V}, \quad (4.9)$$

где t — период полного обмена воды в водоеме.

Степень очистки сточных вод по нормируемому показателю определяется концентрацией загрязнений в сточной воде до и после ее очистки и выражается в процентах. Так, степень α очистки от взвешенных веществ составляет:

$$\alpha = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{загр},i}}{C_{\text{исх}}} \cdot 100\%, \quad (4.10)$$

где $C_{\text{исх}}$ — концентрация загрязнителя до очистки сточных вод.

Аналогичны формулы для определения необходимой степени очистки по БПК_{полн}, ХПК, растворенным неорганическим веществам.

При выпуске кислых и щелочных стоков необходимо учитывать рН водоема, т.е. возможную его нейтрализующую способность. Это в ряде случаев позволяет обойтись без специальных сооружений или существенно сократить их мощности для нейтрализации сточных вод. Допус-

тимое содержание кислоты $C_{\text{загр, к}}$ или щелочи $C_{\text{загр, щ}}$ в сточных водах, спускаемых в водоем, определяется по уравнениям:

$$C_{\text{загр, к}} = (n-1)C_{\text{к}}, \quad (4.11)$$

$$C_{\text{загр, щ}} = (n-1)C_{\text{щ}}, \quad (4.12)$$

где $C_{\text{к}}$ и $C_{\text{щ}}$ — максимальная концентрация кислот или щелочей, которой можно нейтрализовать 1 единицу объема воды водоема (до рН 6,5-8,5).

Допустимые степень очистки по растворенному в воде водоема кислороду, температура, окраска и солевой состав сбрасываемых сточных вод устанавливаются опытным путем.

Во всех случаях, независимо от принятого способа очистки, повышению ее степени способствуют меры по стабилизации расхода и состава сточных вод. Изменчивость этих характеристик может существенно уменьшить эффективность работы очистных устройств или вывести их из строя. Так, залповые сбросы отработанных технологических растворов в термических, плавильных и гальванических цехах приводят к заметному увеличению концентрации тяжелых металлов в сточных водах на входе в очистные сооружения. Быстрое таяние снега, интенсивные дожди вызывают резкое повышение количества поверхностных сточных вод на входе в очистные сооружения, что также ухудшает условия их работы. Поэтому на входе в них для снижения колебаний концентрации примесей и/или расхода сточных вод устанавливают усреднители. Их объем зависит от значения коэффициента $K_{\text{п}}$ подавления:

$$K_{\text{п}} = \frac{C_{\text{max}} - C_{\text{cp}}}{C_{\text{д}} - C_{\text{cp}}}, \quad (4.13)$$

где C_{max} — максимальная концентрация примесей в залповых сбросах сточной воды;

C_{cp} — средняя концентрация примесей в сточной воде на входе в очистные сооружения;

$C_{\text{д}}$ — допустимая концентрация примесей в сточной воде, при которой обеспечивается нормальная эксплуатация очистных сооружений.

При $K_{\text{п}} \geq 5$ объем V усреднителя определяется по формуле:

$$V = K_{\text{п}} \Delta Q \tau_3, \quad (4.14)$$

где ΔQ — превышение расхода сточных вод при залповом сбросе;

τ_3 — продолжительность залпового сброса.

При $K_{\text{п}} < 5$:

$$V = \frac{\Delta Q \tau_3}{\ln[K_{\text{п}} / (K_{\text{п}} - 1)]}. \quad (4.15)$$

4.3. Методы очистки сточных вод

4.3.1. Классификация

Выбор способа очистки зависит от ряда факторов и должен учитывать количество и степень загрязнения сточных вод, их физические, физико-химические, химические характеристики, возможность извлечения ценных и наиболее вредных продуктов, а также обеспечивать максимальное использование воды, до и после очистки, в технологическом процессе и системах водооборота.

Методы очистки сточных вод обычно классифицируют по характеру основных процессов, на которых они основаны. По этому признаку их подразделяют на механические, химические, физико-химические и биологические. Целесообразно, однако, уточнить данную классификацию, рассматривая те или иные процессы очистки сточных вод как некие технологии, приложенные к обработке жидких отходов. В таком случае эти методы, в соответствии с общей классификацией технологических процессов, следует разделить на физические, химические, физико-химические и биохимические.

Нелогично использование, как это делается в существующих классификациях, понятия «механические процессы», так как они только часть более общих физических методов. В свою очередь, лишь последние соразмерны с понятиями химических, физико-химических и биохимических процессов, являются видами равного с перечисленными понятиями уровня деления. Нельзя также не учитывать принципиальной разницы между биохимическими и биологическими процессами. При классификации технологических методов нами отмечалось, что в биопроцессах воспроизводятся сами субъекты живой природы, а биохимические технологии — это химические превращения, протекающие с участием субъектов живой природы, в которых конечным продуктом является неживая материя (кн. 1, разд. 1.2). Последнее и имеет место в технологиях очистки сточных вод, в которых не ставится, как самодостаточная, цель воспроизводства самого субъекта живой природы.

Из перечисленных выше факторов, влияющих на выбор способа очистки, решающими являются вид и концентрация преобладающих примесей стоков: взвешенные или растворенные, органические или неорганические и т.д. Именно они определяют основные характеристики сточных вод. Однако ни один из методов очистки самостоятельно не обеспечивает выполнения современных требований: очистка до ПДК (зачастую на уровне 0,1-0,01 мг/л и менее), возврат 90-95% воды в оборотный цикл, невысокая стоимость, малогабарит-

ность установки, утилизация ценных компонентов. Задача очистки стоков обычно решается совокупностью методов, дополняющих друг друга. При этом примеси выделяются в газообразную, твердую или жидкую фазу или разрушаются.

4.3.2. Физические

4.3.2.1. Общие сведения

Использование физических методов приводит лишь к изменению формы, размеров, агрегатного состояния, количественного соотношения и других физических свойств фаз, составляющих очищаемые системы. При этом в последних не исчезают прежние и не возникают какие-либо новые вещества.

В системах, подвергаемых физическим методам очистки, наиболее распространены загрязнители производственных и бытовых сточных вод в виде нерастворимых примесей (взвешенных веществ). Их концентрация изменяется в широких пределах — от 0,005 до 0,5%. Выделенные из воды в виде осадка, они представляют сильно обводненную массу с плотностью в десятки раз меньшей, чем первоначальная.

По степени дисперсности взвешенные вещества, как отмечалось (разд. 4.2.1), подразделяют на грубодисперсные (10^{-3} см и более), микрогетерогенные (10^{-3} - 10^{-4} см), коллоидные (10^{-5} - 10^{-7} см). Частицы коллоидных размеров могут находиться в состоянии кинетической устойчивости (во взвешенном состоянии) продолжительное время, а более крупные под действием гравитационных сил оседают или всплывают. Это их свойство лежит в основе многих методов физической очистки сточных вод.

Физические методы выделения из сточных вод взвешенных минеральных и органических примесей обычно применяют с целью их подготовки к более глубокой очистке другими способами. Гораздо реже они используются на окончательном этапе очистки. В совокупности физические методы обеспечивают выделение из сточных вод до 95-99% взвешенных веществ и снижают органические загрязнения (по БПК_{полн}) на 20-25%. Их разделяют на методы процеживания, отстаивания, центрифугирования, фильтрации, прилагая для улавливания частиц с различным диапазоном крупности. В качестве основного оборудования в них применяют различные модификации решеток, сит, отстойников, центрифуг, гидроциклонов и фильтров.

К группе физических следует отнести также и некоторые другие рассматриваемые ниже способы, применяемые для удаления растворимых примесей (разд. 4.3.2.6).

4.3.2.2. Процеживание

Процеживание — первичная стадия очистки сточных вод, предназначенная для выделения наиболее крупных (до 150 мм) нерастворимых примесей, а также более мелких волокнистых загрязнений, которые в процессе дальнейшей обработки стоков препятствуют нормальной работе очистного оборудования. Процеживание осуществляют, используя решетки и волокнуловители. Стоки подводят к механическим решеткам по прямоугольным каналам (коллекторам) с В×Н до 2000×5000 мм.

Решетки изготовляют из металлических стержней с зазором между ними 5-25 мм, устанавливаемых в коллекторах вертикально или под углом 60-70° к горизонту. Скорость стока даже при его максимальном расходе не должна превышать в зазоре 0,8-1,0 м/с, что обеспечивает минимальные потери напора на решетке.

При эксплуатации решетки должны непрерывно очищаться, что делают, как правило, с помощью механических, вертикальных или поворотных, грабель. При небольшом объеме отходов их собирают в контейнеры и удаляют, а при большом — дробят на отдельных дробилках и направляют в канал перед решетками или в переработку. Однако эта схема усложняет технологию очистки и ухудшает качество воздуха в помещениях очистных станций. Поэтому часто применяют решетки-дробилки, которые измельчают задерживаемые примеси, не извлекая их из воды. Ручная очистка решеток допускается при количестве загрязнений менее 0,1 м³/сут.

Наряду с грабельными получают распространение более эффективные ступенчатые, ленточные и роторные решетки кругового типа. Они позволяют увеличить массу задерживаемых частиц за счет уменьшения прозоров с 16 до 6 мм при равном гидравлическом сопротивлении, снизить трудоемкость ремонта и обслуживания, повысить плотность отбросов за счет их длительного пребывания над водой, например на ступеньках решетки (рис. 4.4).

Не задерживаемые решетками грубодисперсные загрязняющие вещества удаляют, процеживая сточные воды *через сетчатые барабанные фильтры*, которые условно подразделяют на *барабанные сетки и микрофильтры*.

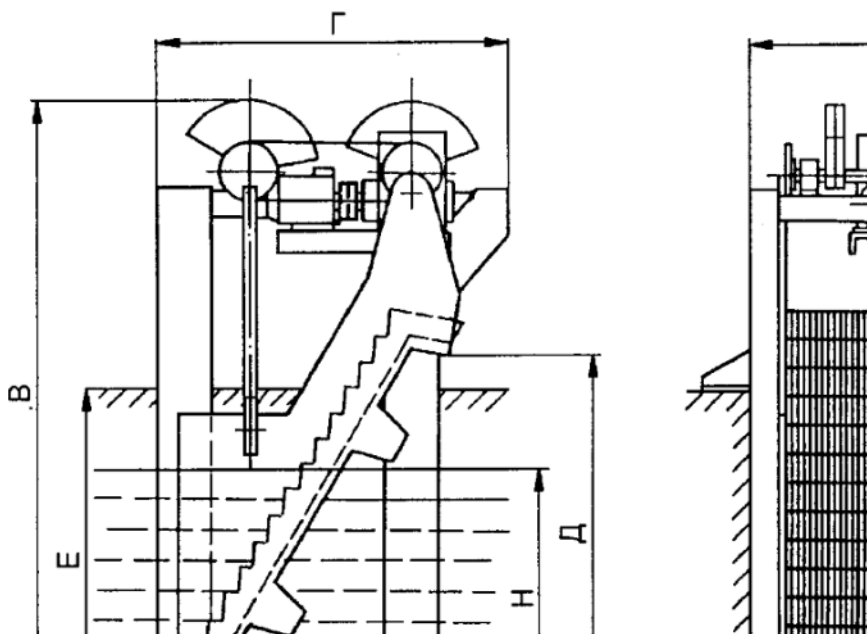


Рис. 4.4. Механическая ступенчатая решетка:

А — ширина решетки — ширина канала (бака); Б — ширина фильтрующей части; В — общая высота решетки; Г — длина решетки; Д — высота выгрузки осадка; Е — максимальная глубина канала (бака); Н — максимальный уровень жидкости перед решеткой

Барабанные сетки горизонтального и вертикального типов предназначены для задержания грубодисперсных примесей на металлических сетках с ячейками 0,5-0,8 мм, натянутых на вращающийся барабан. Окружная скорость его вращения составляет 0,1-0,5 м/с, скорость процеживания 40-50 м³/м²·ч. Стоки подают в барабан по пустотелому неподвижному валу, на котором барабан вращается на подшипниках. Задерживаемая сеткой масса смывается непрерывной струей воды под давлением 0,15-0,20 МПа, расход которой составляет обычно 1-2% от количества очищенной воды (Feldhusen...).

Барабанные сетки задерживают примеси в отсутствие в воде вязких веществ, снижают концентрацию взвесей на 25-40% при их исходном содержании не более 250 мг/л. Часто их устанавливают перед зернистыми фильтрами для глубокой очистки сточной воды. Производительность аппаратов составляет 10-100 тыс. м³/сут.

Микрофильтры по своей конструкции аналогичны барабанным сеткам и используются для удаления тонких взвесей растительного и животного происхождения и других примесей. Размер ячеек микрофильтров равен 20-40 мкм, их материал — металл или пластик. Содержание взвешенных веществ, поступающих на микрофильтры, не должно превышать 300 мг/л. При этих условиях эффект очистки от взвешенных веществ составляет 40-60%, что позволяет в отдельных случаях заменять ими первичные отстойники. БПК_{полн} при совместной очистке бытовых и сточных вод снижается на 25-30%.

4.3.2.3. Отстаивание

Методы отстаивания используют для осаждения взвешенных в воде или других жидких дисперсионных средах частиц дисперсной фазы, относящихся по размерам к грубодисперсным (крупнее 10^{-3} см). Отстаивание происходит под действием силы тяжести и, при соблюдении некоторых условий для сферических частиц диаметром d , подчиняется закону Стокса:

$$v_0 = \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{18\eta}, \quad (4.16)$$

где v_0 — скорость осаждения;

ρ — плотность осаждающихся частиц;

ρ_0 — плотность жидкости;

g — ускорение свободного падения;

η — коэффициент динамической вязкости.

При ρ больше, чем ρ_0 , примесная частица осядет, при ρ меньше ρ_0 она всплывет на поверхность жидкости.

Формула Стокса выведена в предположении свободного осаждения в ламинарном потоке жидкости частиц диаметром менее 1 мм, не взаимодействующих друг с другом. Условия свободного осаждения частиц практически сохраняются при их объемной концентрации до 1%, что соответствует массовой концентрации 12-26 г/л при плотности 1,2-2,6 г/см³, характерной для фракций земли, глины, песка. При этом отстаиваться могут как неслипающиеся частицы, сохранившие свои формы и размеры, так и частицы, склонные к флокуляции и коалесценции. Мешают отстаиванию факторы, нарушающие ламинарность движения жидкости и свободный характер отстаивания частиц. К ним относятся, например, перепад температур, неравномерность распределения воды в отстойнике, степень турбулизации потока.

Скорость осаждения частиц крупнее 1 мм определяется по формулам для промежуточного и турбулентного режимов. В последнем случае используют формулу Риттенгера:

$$v_0 = \kappa \sqrt{\frac{\rho - \rho_0}{\eta} g d} , \quad (4.17)$$

где κ — коэффициент, в зависимости от формы и плотности частиц принимающий значения 1,2-2,3.

Рассматриваемый метод очистки сточных вод реализуют в двух типах аппаратов: песколовках и отстойниках.

Основное назначение *песколовки* — задерживать минеральные взвеси крупностью более 0,2 мм. Их применяют для выделения из стоков частиц песка (литейные цехи), окалины (кузнечно-прессовое и прокатное производство), нефтесодержащих загрязнений, нерастворимых осадков (гипсовых и известняковых) станций нейтрализации сернокислотных вод и т.д. Обычно песколовки устанавливают на очистных сооружениях производительностью более 100 м³/сут.

Отечественная промышленность выпускает песколовки нескольких типов (горизонтальные с круговым и прямолинейным движением жидкости, вертикальные, аэрируемые).

Горизонтальные песколовки с круговым движением воды обеспечивают расчетную производительность по стокам 0,45-0,95 м³/с, количество снимаемых отходов 4,5 м³/сут, минимальный размер задерживаемых частиц 0,20-0,25 мм, степень осветления 92-98%. Они имеют более простую систему выгрузки осадка (Яковлев...).



Рис. 4.5. Схема горизонтальной песколовки

В горизонтальной песколовке с прямолинейным движением сточной воды (рис. 4.5) последняя поступает в песколовку 2 через входной патрубок 1. Оседающие твердые частицы скапливаются в шламосборнике 3 и на дне песколовки, а очищенная сточная вода через выходной патрубок 4 направляется для дальнейшей обработки.

Продолжительность продвижения воды от входного до выходного патрубка при ее скорости 0,15-0,30 м/с и толщине слоя около 2 м равна обычно 30-100 с. Пропускная способность этих песколовки 70-280 тыс. м³/сут. Они снабжены механизмами для перемещения осадка в бункер (цепными, тележеч-

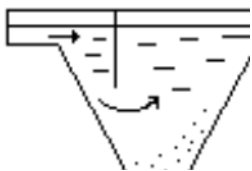


Рис. 4.6. Схема вертикальной песколовки

ными) или гидроэлеваторами и насосами для его транспорта к месту обезвоживания и другой обработки.

В *вертикальных песколовках* (рис. 4.6) вертикальная составляющая скорости движения воды невелика (0,03-0,04 м/с) при продолжительности пребывания стоков порядка 120 с и высоте слоя воды около 5 м.

Аэрируемые песколовки применяют для разделения твердых частиц по размерам и плотности. Они включают входную трубу 1, воздуховод 2, воздухораспределитель 3, выходную трубу 4, шламосборник 5 с отверстием 6 для удаления шлама (рис. 4.7). Крупные фракции осаждаются так же, как в горизонтальных песколовках. Мелкие же частицы, обволакиваясь пузырьками воздуха, флотируют на поверхность и удаляются скребковыми механизмами. Продолжительность пребывания стоков при их входной скорости 0,1-0,2 м/с составляет 30-90 с, расход воздуха равен 0,8-1,4 л/м²·с.

Аэрируемые песколовки одновременно могут использоваться для улавливания всплывающих загрязнений (жиров, нефтепродуктов и др.), как преаэраторы.

Отстойники используют для выделения из сточных вод твердых частиц размером менее 0,25 мм. По конструкции резервуара различают *горизонтальные и вертикальные отстойники*. Для обработки сточных вод, имеющих специфические включения, например нефтяные, отстойники могут быть снабжены дополнительными устройствами для сбора всплывающих загрязнителей.

Горизонтальные отстойники применяют при количестве стоков свыше 15 тыс. м³/сут при горизонтальной скорости движения воды 0,01 м/с, продолжительности отстаивания 1-3 ч и эффективности отстаивания 60%.

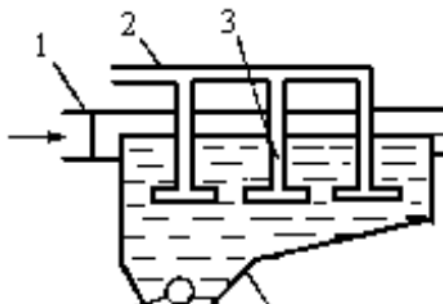


Рис. 4.7. Схема аэрируемой песколовки

По конструкции различают горизонтальные отстойники прямоугольные и круглые, близкие по устройству соответственно к горизонтальным песколовкам (рис. 4.5) и сгустителям, используемым в обогащении полезных ископаемых.

Прямоугольные отстойники имеют то преимущество перед

круглыми, что могут быть компактно совмещены с другими сооружениями, но обычно они стоят дороже. Длина их составляет несколько десятков метров при ее отношении к ширине, равном 3-6, и при глубине 2,5-4 м с уклоном днища 1°. Эти конструкции применяют только при небольшом количестве осадка. Удаление последнего производится скребковыми устройствами.

В последнее время получили распространение *тонкослойные отстойники*. В отличие от обычных прямоугольных они снабжены блоками с наклонными (под углом 30-85° к горизонту) полками, что ускоряет процесс осаждения в 2-3 раза. Ил, попадая на нижнюю полку, сползает по ней в зону накопления осадка.

Круглые отстойники представлены радиальными и периферическими конструкциями.

Радиальные отстойники применяют для очистки больших объемов сточных вод, например на предприятиях черной и цветной металлургии, для бытовых сточных вод и т.д. Их используют для улавливания как относительно крупных (*первичные отстойники*), так и более мелких частиц (*вторичные отстойники*). Расчетное время отстаивания в них принимается равным 1,5 ч при скорости потока в первичном отстойнике не более 7 мм/с и во вторичных — не более 5 мм/с. В отечественной практике обычно применяют отстойники диаметром 16-50 м, иногда большего размера, с производительностью 0,20-0,36 м³/с.

В радиальной конструкции (рис. 4.8) очищаемая сточная вода по входному патрубку 1 с расширяющимся сечением на выходе поступает в отстойник снизу вверх. Расширение патрубка уменьшает скорость истечения стоков из трубопровода,

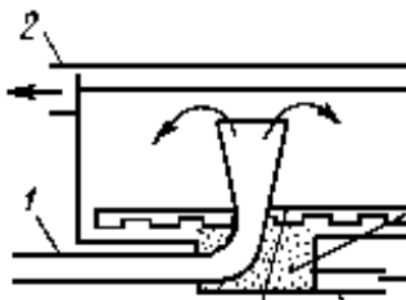


Рис. 4.8. Схема радиального отстойника

повышая вероятность ламинарного осаждения твердых частиц. Очищенная сточная вода по отводящим трубопроводам 2 направляется для дальнейшей обработки, а шлам попадает в шламосборник 3 и вращающимся скребком 5 через канал 4 периодически удаляется из отстойника. Производительность таких отстойников более 20 тыс. м³/сут., эффективность отстаивания 60%.

Несмотря на диффузорный характер подачи стоков, существенным недостатком радиальных отстойников является повышенная скорость их выпуска, поэтому

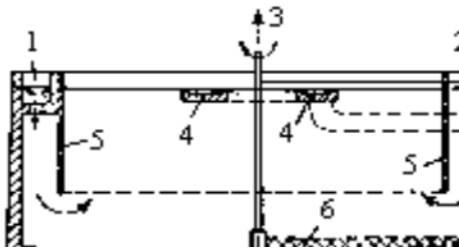


Рис. 4.9. Отстойник с периферийной подачей жидкости:
 1 — водоподводящий кольцевой лоток с дырчатым распределением;
 2 — то же, с водосливным распределением;
 3 — привод скребковой фермы;
 4 — водосборный кольцевой лоток;
 5 — водонаправляющая кольцевая стенка;
 6 — илоскребок;
 7 — водоотводящая труба; 8 — шламаотводящая труба

значительная часть объема сооружений используется неэффективно.

Этот недостаток в значительной степени устранен в отстойниках с периферической подачей сточной воды (рис. 4.9). Вода в них поступает из распределительных желобов через водосливы или через затопленные отверстия. Водонаправляющая кольцевая стенка не доходит до дна отстойника на 25-30% его расчетной глубины, и очищаемая вода поступает в сооружение на границе его иловой зоны, где условия для выделения взвешенных веществ наиболее благоприятны. Пропускная

способность отстойников с периферической подачей очищаемой воды почти в два раза превышает ее в радиальных отстойниках.

Вертикальные отстойники до недавнего времени относились к числу наиболее распространенных сооружений, однако в настоящее время применяются в основном при очистке бытовых стоков и значительно реже — производственных. Объясняется это тем, что гидродинамические условия осаждения в них взвесей менее благоприятны, чем в горизонтальных, а производственные сточные воды многих отраслей народного хозяйства содержат мелкие с небольшой плотностью механические примеси, выделение которых путем отстаивания малоэффективно. Кроме того, большая глубина отстойников затрудняет строительство в плотных грунтах и при высоком уровне стояния грунтовых вод. Их преимущество — простота конструкции, не содержащей движущихся частей. Удаление осадков реализуется за счет гидростатического давления столба стоков.

Вертикальные отстойники имеют в плане круглую ($d = 5-10$ м) или квадратную (до 14×14 м) формы с общей строительной высотой 5-9 м, разбиваемой на цилиндрическую и коническую части примерно в равном отношении. Угол наклона конических стенок составляет обычно $45-60^\circ$, что обеспечивает сползание по ним накапливаемого осадка. Скорость вертикального потока 0,5-0,6 мм/с, эффективность осаждения около 50%.

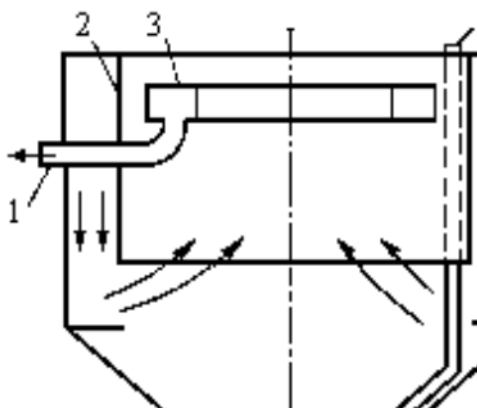


Рис. 4.10. Схема вертикального отстойника

Очищенная сточная вода попадает в кольцевой водосборник 3 и по трубопроводу 1 выводится из отстойника. Осадок из шламособорника периодически удаляется через трубопровод 4. Степень очистки в вертикальных отстойниках может достигать 40-45%. Их используют для выделения окалина из сточных вод кузнечно-прессовых и прокатных цехов.

Для всех методов отстаивания характерен ряд недостатков. Основные из них — низкая плотность осадка и существенная продолжительность процесса, что обуславливает невысокую производительность и большой объем отстойников. Эти недостатки в меньшей степени присущи методам разделения в поле центробежных сил и фильтрации.

4.3.2.4. Разделение в поле центробежных сил

Этот процесс осуществляют в открытых или напорных гидроциклонах и в центрифугах.

Открытые гидроциклоны (рис. 4.11) применяют для отделения из сточных вод крупных твердых частиц со скоростью осаждения более 20 мм/с. Преимущества их перед напорными — большая производительность и малые потери напора, не превышающие 0,5 кПа. Эффективность очистки зависит от характеристик примесей (вида материала, размера и формы частиц и т.п.), а также от конструктивных и геометрических характеристик самого гидроциклона. Обычно она равна 50-60%.

Открытый гидроциклон состоит из входного патрубка 1, кольцевого водослива 2, трубы для отвода очищенной воды 3 и шламоотводящей трубы 4. Диаметр d и высота цилиндрической части гидроциклона

Схема вертикального отстойника с периферийным впуском воды представлена на рис. 4.10. Неочищенная сточная вода поступает по трубопроводу 5 в кольцевую зону, образованную цилиндрической перегородкой 2 и корпусом 6 отстойника. В процессе вертикального движения сточная вода встречает отражательное кольцо 7, направляющее поток во внутреннюю полость перегородки 2, а твердые частицы оседают в шламособорнике 8.

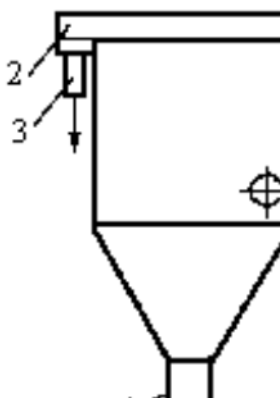


Рис. 4.11. Схема открытого гидроциклона

обычно равны 2-10 м, диаметр входного отверстия $0,1d$, угол конической части — около 60° .

Напорные гидроциклоны по конструкции аналогичны циклонам для очистки газов от твердых частиц (рис. 3.4). Диаметр их цилиндрической части составляет 50-500 мм, производительность до $85-90 \text{ м}^3/\text{ч}$, напор перед циклоном до 20-30 кПа. Аппараты диаметром более 100 мм служат для очистки от грубых примесей, а батарейные циклоны ($d=25-100$ мм, производительность 10-250 $\text{м}^3/\text{ч}$) — от более дисперсных при степени одностадийной очистки 80-85%.

Если в гидроциклонах центробежные силы, ускоряющие выделение частиц, создаются тангенциальным вводом жидкости и ее закручиванием вдоль стенок неподвижного аппарата, то в *центрифугах* центробежные силы создают вращением самого аппарата. Центрифуги для разделения эмульсий носят название *сепараторов*.

Мощность силового поля в центрифуге может превышать силу тяжести в сотни тысяч раз, что, в принципе, позволяет получить любую полноту разделения. Центробежное ускорение развиваемого силового поля (фактор разделения Φ_p) определяют по уравнению:

$$\Phi_p = 39,44 \cdot n^2 \cdot r, \quad (4.18)$$

где n — частота вращения, мин^{-1} ;

r — радиус вращения кольца жидкости, м.

Наиболее часто для обезвоживания осадков сточных вод используют центрифуги непрерывного действия. Поступление стока в них, выгрузка *фугата* (жидкой части) и кека осуществляются непрерывно. Основным элементом таких центрифуг — горизонтальный вращающийся цилиндр — конический блок и расположенный внутри него шнек, также вращающийся, но с несколько меньшей скоростью.

Непрерывно действующие центрифуги подразделяют на прямоточные и противоточные. Прямоточные конструкции пригодны для плотного осадка, противоточные лучше подходят для обезвоживания коллоидных гидрофильных осадков. Более распространены прямоточные центрифуги модификации НОГШ (рис. 4.12).

Они предназначены для разделения суспензий с концентрацией твердой фазы 1-40% (по объему), с крупностью частиц более 5 $\mu\text{м}$ и разностью плотностей твердой и жидкой фаз более $0,2 \text{ кг}/\text{дм}^3$. Ос-

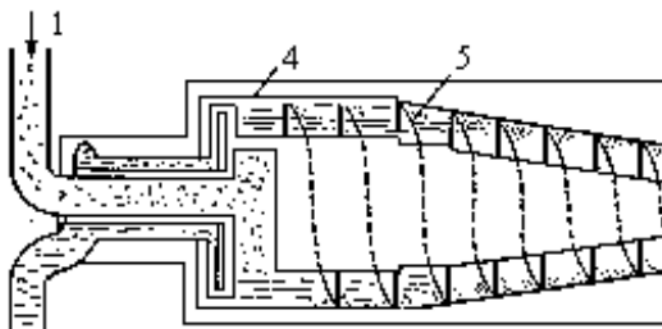


Рис. 4.12. Прямоточная непрерывнодействующая центрифуга с подачей осадка в центре:

- 1 — подача осадка; 2 — выгрузка кека; 3 — отвод фугата;
4 — ротор; 5 — винтовой скребок

новые технические параметры НОГШ: внутренний диаметр ротора 1100-1320 мм ($l/d = 2,5-3,5$; угол конусности $6-8^\circ$), наибольшая частота вращения $800-1000 \text{ мин}^{-1}$, фактор разделения 475-620, производительность $120-300 \text{ м}^3/\text{ч}$, доля извлечения примесей 70-90%, а при обработке сточных вод высокомолекулярными электролитами — до 85-99%, содержание сухого в кеке — 9-60%.

Имеются и более мощные центрифуги с частотой вращения 5000 мин^{-1} и производительностью по сухому веществу до 6000 кг/ч (Denkert).

4.3.2.5. Фильтрация

Фильтрация — наиболее эффективный метод очистки сточных вод от взвешенных частиц. Оно применяется как доочистная операция после химической, физико-химической и биохимической обработки стоков, так как использование некоторых из этих методов сопровождается выделением в очищаемой жидкости механических загрязнений.

Фильтрация реализуют либо на поверхности, либо в глубине фильтрующего материала.

Поверхностное фильтрование осуществляют через сетчатые перегородки (процеживание, микрофильтрование, фильтрование под давлением или под вакуумом и т.д.), через объемные элементы из пористых материалов значительной толщины (фильтры полимербетонные из пористой керамики, патронные фильтры), через жесткие каркасы из пористого материала с предварительно нанесенным фильтрующим слоем (намывные фильтры трубчатые, рамные, лотковые, барабанные и др.).

Глубинное фильтрование проводят, применяя однослойные или многослойные зернистые фильтрующие загрузки.

По характеру механизма задержания взвешенных частиц различают два основных вида глубинного фильтрования:

через сплошную «фильтрующую пленку» (осадок) загрязнений, образуемую в межзеренном пространстве загрузки (*медленные фильтры*). Скорость фильтрации на медленных фильтрах составляет 0,1-0,3 м/ч. В настоящее время новые медленные фильтры почти не строят;

без образования на поверхности загрузки фильтрующей пленки (*скорые фильтры*). В этом случае жидкость спокойно протекает в межзеренном пространстве, а частицы загрязнений высаживаются на зернах загрузки при ее высоте 1,5-2,0 м и скорости фильтрации 12-20 м/ч. Для очистки фильтра используют последовательно воздушную и водную продувки в направлении снизу вверх. Способ применяется для осветления мутных и цветных вод после коагулирования и отстаивания, при реагентном умягчении воды, при ее обезжелезивании и в других случаях.

В общем, методы фильтрования сточных вод, а также используемое оборудование аналогичны применяемым в других случаях, например в гидрометаллургии, обогащении, при очистке газов. Поэтому укажем лишь на некоторые особенности этого процесса.

При поверхностном фильтровании наряду с барабанными и дисковыми вакуумными широко применяют фильтры, работающие под внешним давлением на пульпу (фильтр-прессы). Их последние модификации весьма внушительны. Так, фильтр-прессы финской компании Lagox имеют рабочую площадь единичного блока до 144 м². Новая модель Powerex PF обеспечивает производительность по сухому продукту до 60 т/ч. Она основывается на стандартных фильтровальных плитах площадью 6 м² с их набором до 10 штук при максимальной производительности. Рабочее давление фильтр-пресса достигает 16 бар (New...).

В последнее время большое внимание уделяется разработке и применению ленточных фильтр-прессов (ЛФП). В сравнении с центрифугами они имеют в несколько раз меньший расход электроэнергии, просты в ремонте и обслуживании. Производительность отечественных ЛФП фирмы «БИФАР» составляет 1-15 м³/ч, в зависимости от ширины ленты (500-1500 мм). Установка перед ними ленточного сгустителя позволяет повышать концентрацию твердой фазы в обезвоженном осадке до 15-40%. При этом производительность ЛФП-1500 увеличивается с 10-13 до 22-27 м³/ч. При использовании флокулянтов их расход не превышает 1,75-2,0 кг/т осадка (Гюнтер).

При использовании зернистых фильтров для глубинного фильтрования направление движения потоков воды может быть *нисходящим* (сверху вниз) или *восходящим* (снизу вверх) при однослойной или многослойной загрузках фильтрующего материала. Скорость потоков составляет 10-15 м/ч.

Главный недостаток фильтра с восходящим потоком заключается в возможной взвешенности верхнего слоя загрузки, ограничивающей дальнейшее увеличение скорости фильтрования.

Наиболее распространены и просты по конструкции *однослойные фильтры* с нисходящим потоком. В качестве фильтрующего материала

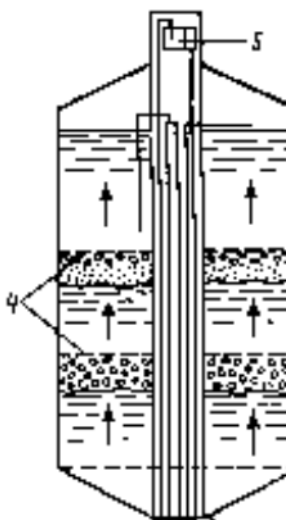


Рис. 4.13. Фильтр с плавающей загрузкой:

- 1 — отвод промывной воды; 2 — сифон;
- 3 — подача воды на очистку; 4 — дренажные решетки;
- 5 — бак-регулятор;
- 6 — плавающая загрузка; 7 — отвод фильтрата; 8 — зарядное устройство сифона

в них могут быть использованы гравий, щебень, мраморная крошка, антрацит, вулканические туфы, керамзит, доменный шлак, горелая порода, шунгизит. Наиболее эффективно применение песка с размером зерен 1-2 мм, однако он сравнительно дорог и дефицитен. Промывка фильтра ведется обратным потоком воды с подачей воздуха. Фильтрование сточных вод в слое загрузки высотой 1-2 м (после химической или физико-химической очистки) снижает содержание взвешенных веществ на 70%, а БПК₅ — приблизительно на 40%, доводя их концентрации до 20 мг/л и менее. Фильтрование после биохимической обработки обеспечивает 80%-ю эффективность очистки по взвешенным веществам и 60%-ю — по БПК₅.

Для многослойных фильтров в качестве загрузки используют антрацит, песок, гранит и ильменит с плотностью соответственно 1,5; 2,6; 4,2; 4,8. Грязеемкость многослойных фильтров, состоящих из слоев крупной, а затем мелкой засыпки, при примерно одинаковой высоте загрузки в 2-3 раза больше, чем однослойных.

В последние десятилетия получают распространение водоочистные технологии и сооружения с плавающим фильтрующим слоем, имеющим меньшую, чем у воды, плотность. Идея этого способа принадлежит В.Г.Ильину, первые исследования в

1963-1966 гг. провели С.И.Мороз и М.Г.Журба, используя гранулированную пенополистирольную загрузку. В настоящее время внедряют фильтры с волокнисто-пенополистирольной и волокнисто-пенопластовой загрузкой (с нисходящим и восходящим потоками, напорные и безнапорные, многоярусные и многослойные). Конструкция двухъярусного фильтра с плавающей загрузкой из пенополистирола представлена на рис. 4.13.

К преимуществам ФПЗ относится простота их конструкции, так как отпадает необходимость в применении материалоемких дренажных систем, поддерживающих слоев, промывных насосов. Упрощается регенерация загрузки, которая сводится к отжиманию из нее жидкости с поглощенными загрязнениями. Как следствие, капитальные затраты на стадии фильтрации снижаются на 15-20, а эксплуатационные — на 25-35%, транспортные расходы на доставку загрузки сокращаются в 10-15 раз.

Параметры ФПЗ: толщина рабочего слоя до 1,5 м, диаметр гранул 0,5-0,6 мм, скорость фильтрации 0,6-20 м/ч, исходная концентрация взвеси до 1000 мг/л, ее извлечение при продолжительности цикла фильтрования 1-20 сут составляет 50-85%. Метод особенно эффективен при доочистке биохимически очищенных бытовых сточных вод из вторичных отстойников. Так, при входной концентрации взвеси 20-150 мг/л и БПК₅ 4-27 мг/л выходная их концентрация при продолжительности цикла фильтрования 3 сут составляет 3-6 мг/л, содержание аммонийного азота снижается до 1-5 мг/л. Перспективно также комбинирование ФПЗ с блоками центрифугирования, озонирования и электрокоагуляции, контактного смешения и хлопьеобразования.

В настоящее время ФПЗ используют в черной металлургии, коммунальном хозяйстве, водозаборных скважинах, при микроорошении, в гальваническом производстве и при очистке нефтесодержащих сточных вод, на предприятиях кожевенной, винодельческой, легкой, химической, строительной промышленности и т.д. Уже внедрено более 200 фильтров с производительностью 10-25000 м³/сут. Общая площадь некоторых из них достигает 420 м². Фильтры с плавающей загрузкой начинают применять и за рубежом (Журба).

Заканчивая в целом рассмотрение методов фильтрации, отметим их высокую эффективность прежде всего при очистке питьевых вод от вирусов и бактерий. Так, по данным двухлетних исследований на водопроводных станциях Франции, песчаные фильтры с размером зерен 0,5-0,6 мм, высотой фильтрующего слоя 50-70 см и скоростью фильтрации 5 м/ч обеспечивают удаление вирусов на 77-99, бактерий — на 99%. Скорая фильтрация менее эффективна, но и она позволяет задерживать 90-99% бактерий (Гончарук...).

4.3.2.6. Другие методы

Эвапорация (отгонка с водяным паром) основана на том, что при нагревании растворов, содержащих летучие вещества, последние вместе с паром переходят в газовую фазу. Среди эвапорационных методов наибольшее распространение получили пароциркуляционный способ и азеотропная ректификация.

Пароциркуляционный способ применяют для удаления из сточных вод фенолов, крезолов, нафтолов и других веществ, осуществляя его в аппаратах периодического или непрерывного (дистиляционные колонны) действия. При движении навстречу перегретому пару через колонну с насадкой сточная жидкость нагревается до 100°C , присутствующие в ней летучие примеси переходят в паровую фазу, распределяясь между ней и стоками в соответствии с величиной коэффициента их распределения. Последний при концентрациях примесей порядка 0,01-0,1 н (близких к бесконечно разбавленным растворам) для фенолов и других перечисленных выше веществ равен 3,5 и более в пользу парообразной фазы.

Основные параметры эвапорационных колонн: диаметр 0,8-3,0 м, высота насадки 6-12 м, ее материал — фарфоровые кольца, кокс, дробленый кварц (все с удельной поверхностью $40-110 \text{ м}^2/\text{м}^3$), плотность орошения $1-2 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$, расход пара $0,5-1,5 \text{ кг}/\text{кг}$ примесей, производительность $20-200 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Выходящий из колонны пар промывается раствором щелочи, в который переходят загрязнения. При нейтрализации щелочного раствора загрязнения выделяются из него и могут быть удалены отстаиванием.

Азеотропная ректификация основана на свойстве некоторых двухкомпонентных растворов разделяться при нагревании на чистый компонент и азеотропный (нераздельнокипящий) раствор постоянного состава, содержащий повышенную долю второго компонента. В этом способе сточная вода проходит через колонну, обогреваемую паром, разделяясь на испаряемую азеотропную смесь воды с повышенным содержанием загрязнителя и очищенную воду. Азеотропная паровая смесь поступает в конденсатор. Конденсат после дополнительного охлаждения разделяют в сепараторе на воду, сбрасываемую в исходные стоки, и органическую фазу, поступающую на дальнейшую переработку или на повторное применение.

К азеотропным системам относятся некоторые водные растворы спиртов, азотной и соляной кислот, смеси спиртов с бензолом и хлороформом и др.

Выпаривание применяют для увеличения концентрации солей, содержащихся в сточных водах, и ускорения их последующей кристалли-

зации. К нему прибегают и для обезвреживания небольших количеств высококонцентрированных сточных вод, если другие способы оказываются экономически нецелесообразными. В последнее время метод нашел широкое применение при обезвреживании концентрированных радиоактивных и других жидких отходов (разд. 8.3.2). Различают выпаривание простое и под вакуумом (одно- или многоступенчатое).

Простое выпаривание производят в открытых емкостях, нагревая стоки с помощью пара низкого давления до температур кипения. Такой вариант обуславливает большой расход тепла. При выпаривании под вакуумом можно значительно снизить температуру кипения и расход тепла, однако вакуумные установки более сложны и дороги.

В последние годы разработаны выпарные установки производительностью 6-120 л/ч по сточным водам, использующие инфракрасные излучатели. Испарение воды в них происходит только в облучаемой зоне в слое 0,05-0,1 мм, что исключает проблемы накипеобразования и вспенивания. Простота регулирования мощности излучения и возможность использования природного газа или биогаза как источников энергии для инфракрасных излучателей существенно расширяют область использования нового выпарного оборудования (Nit...).

Испарение, в отличие от выпаривания, реализуемого при температуре кипения, осуществляется только с поверхности жидкости, организуется обычно в естественных условиях и протекает практически при любой температуре. Площадь испарителей рассчитывается в зависимости от климатических и грунтовых условий.

Процесс испарения положен в основу новой технологии термической сушки осадков сточных вод. Она реализуется в печи с одной или несколькими расположенными друг над другом лентами из искусственного волокна или металлическими с отверстиями. Лента с осадком СВ движется в непрерывном режиме, перпендикулярно ее плоскости через нее и осадок поступает теплый воздух. Время сушки составляет 1 ч, расход электроэнергии равен 830-950 кВт · ч/кг осадка (Гюнтер).

Кристаллизация основана на изменении растворимости веществ при различных температурах. При снижении последней обычно уменьшается их растворимость, в том числе примесей сточных вод. При достижении ими степени пересыщения в растворе они из него выкристаллизовываются, жидкая фаза становится чище. Процесс кристаллизации можно интенсифицировать, ускоряя испарение жидкости.

Применение этого метода целесообразно при обработке небольших количеств концентрированных сточных вод. При необходимости обработки методом кристаллизации недостаточно концентрированных стоков их предварительно выпаривают.

Кристаллизацию осуществляют в аппаратах непрерывного и периодического действия, в последнем случае — при естественном, за счет испарения воды с перемешиванием, и искусственном охлаждении.

Первопарация является разновидностью испарения, которое в данном случае реализуется через мембрану. Процесс заключается в том, что нагретая жидкость достигает внутренней поверхности мембраны, частично проникает через нее и испаряется с ее внешней стороны. Образующийся при этом парообразный пермеат удаляют вакуумированием или в потоке газа-носителя, например воздуха.

С начала 70-х годов первопарация используется для обезвоживания органических растворителей и спиртов, опреснения воды, очистки веществ в пищевой промышленности и других отраслях (Применение...).

Вымораживание проводится при температурах замерзания воды или сточных жидкостей и осуществляется в случаях, когда концентрации примесей не достигают насыщения, и загрязнители не переходят в лед, а, в отличие от кристаллизации, остаются в жидкой части. При повышении концентрации примесей до близкой к насыщению раствор направляют на переработку или обезвреживание, а лед после таяния можно использовать для различных бытовых и технологических нужд.

В домашних условиях вымораживание применяют, в частности, для очистки водопроводной питьевой воды. Воду вымораживают не полностью, жидкую часть, содержащую сконцентрированные в ней примеси, сливают. Лед растапливают, полученную воду нагревают до кипячения, при этом из нее выпадает (коагулирует) дополнительное количество примесей, преимущественно гидроксидов железа, которые легко отделяются при фильтровании через марлю. Отфильтрованная вода по вкусу, чистоте и прозрачности соответствует родниковой.

Замораживание сточных вод используют как способ их очистки и обеззараживания. Его осуществляют дождеванием сточных вод или их распылением на мельчайшие капельки сжатым воздухом на установках искусственного снега при отрицательных температурах атмосферы. В последнюю при замораживании выделяется углекислый газ, увеличивается рН стоков, от воды отделяются загрязнения. Эффект обеззараживания усиливается воздействием солнечной радиации как при складировании льда, так и при его таянии в теплый период года. По данным S.Kneisel, применение замораживания снижает расходы на очистку стоков вдвое по сравнению со стабилизацией в аэрируемых прудах.

Магнитная обработка внедрена при очистке сточных вод металлургических предприятий от ферромагнитных механических примесей, а также в системах оборотного водоснабжения для предупреждения накипеобразования в теплообменных аппаратах.

Следует иметь в виду, что эффект магнитной обработки в водных растворах и взвешях весьма неустойчив, всецело определяется составом примесей, внешними условиями и наиболее выражен при наличии ферромагнитных частиц. Однако в дистиллированной воде, как показывают теоретические расчеты и эксперименты, эффекты магнитной обработки в принципе отсутствуют.

4.3.3. Химические

Химические методы применяют для удаления из сточных вод *растворимых* загрязнителей, используя различные реагенты. При взаимодействии с примесями последние образуют безвредные соединения или малорастворимые осадки, в состав которых переходят элементы вредных веществ. Таким образом, изменяются не только физические, но и химические свойства подвергаемых очистке систем, в строго эквивалентных количествах реагируют, исчезают и возникают различные вещества.

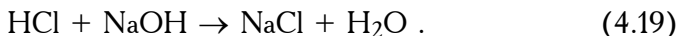
Химические методы очистки можно применять самостоятельно перед спуском стоков в водоем или в канализацию. В ряде случаев химическую очистку целесообразно осуществлять перед биохимической обработкой сточных вод. Используют ее и как метод глубокой очистки производственных стоков с целью их дезинфекции, обесцвечивания или извлечения различных компонентов.

Основными методами химической очистки являются нейтрализация и окисление.

4.3.3.1. Нейтрализация

Нейтрализацию осуществляют для приведения рН сточных вод к 6,5-8, т.е. к среде, близкой к нейтральной. Более опасны (химически активнее) и чаще, в сравнении с щелочными, встречаются кислые стоки. Последние обычно загрязнены минеральными кислотами (серной, азотной, соляной, фосфорной, сероводородной, плавиковой, хромовой и др.), их смесями, а также органическими кислотами (уксусной, салициловой и пр.).

Все методы нейтрализации основаны на взаимодействии кислоты с основаниями или основными окислами с образованием соли и воды, например:



Соль, в зависимости от величины ее растворимости, остается в растворе или выпадает в осадок.

Применяют следующие способы нейтрализации:

взаимную кислотных и щелочных сточных вод их смешением; реагентную (растворами кислот, негашеной и гашеной известью, кальцинированной Na_2CO_3 и каустической NaOH содой, раствором аммиака);

на специальных фильтрах, пропуская сточные воды через нейтрализующие материалы (известь, известняк, доломит, магнезит, обожженный магнезит, мел и т.д.).

Из отмеченных способов взаимная нейтрализация, при реальной возможности получить необходимую рН, всегда предпочтительнее, так как не требует затрат реагентов и практически не ограничена во времени.

Нейтрализацию реагентами и на фильтрах реализуют при равномерной подаче сточных вод, содержащих сильные кислоты или щелочи, когда невозможно осуществить взаимную нейтрализацию. Распространенным реагентом для нейтрализации кислотных стоков в настоящее время является гашеная известь, а для щелочных — техническая серная кислота.

В последнее время предложены способы нейтрализации щелочных сточных вод дымовыми газами, содержащими кислотные оксиды CO_2 , SO_2 , NO_x и др. Это позволяет одновременно очищать газы от данных компонентов.

Нейтрализация сточных вод осуществляется на станциях реагентной нейтрализации (принципиальная схема представлена на рис. 4.14). Аппаратура станций (резервуары-усреднители стоков, емкости для приго-

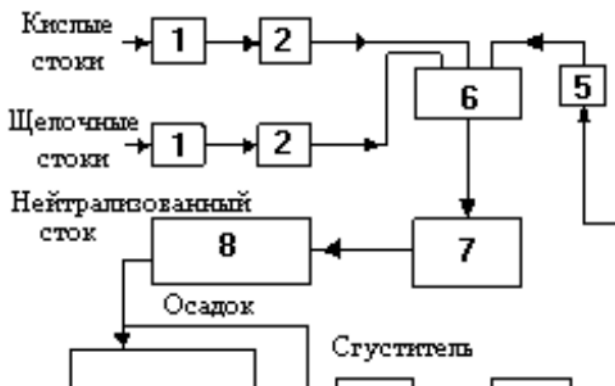


Рис. 4.14. Принципиальная схема станции нейтрализации:
 1 — песколовки; 2 — усреднители; 3 — склад реагентов; 4 — растворные баки; 5 — дозатор; 6 — смеситель; 7 — нейтрализатор; 8 — отстойник; 9 — осадкоуплотнитель; 10 — вакуум-фильтр; 11 — накопитель обезвоженных осадков; 12 — шламовые площадки

товления рабочих растворов реагентов, трубопроводы, насосы и т.п.) выполняют в антикоррозионном варианте.

Перемешивание стоков с реагентами производится лопастными или пропеллерными мешалками с вертикальной осью вращения. Продолжительность контакта сточных вод и реагентов в зависимости от их состава равна 5-30 мин, и она увеличивается, если в стоках есть ионы цветных металлов.

Для отстаивания осадков нейтрализации применяют горизонтальные радиальные или вертикальные аппараты со временем пребывания в них сточных вод не менее 2 ч. Продолжительность процесса уменьшается при использовании флокулянтов, например 1%-го раствора полиакриламида.

После отстаивания осадок обезвоживается на шламовых площадках с дренажем. Их устраивают на открытом воздухе или в закрытых утепленных помещениях, оборудованных механизмами для удаления осадков. Пропускная способность площадок в закрытых помещениях составляет 10-15 м³/(м²·год).

Если станция нейтрализации не имеет шламовых площадок, то нейтрализованные стоки перекачивают в осадкоуплотнители (сгустители) со временем пребывания в них не менее 6 ч. Затем сгущенный осадок обезвоживают на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах или в центрифугах.

Место складирования обезвоженных осадков выбирают по согласованию с местными органами санитарной инспекции.

Известны также передвижные установки производительностью до 1,5 м³/ч по стокам, размещенные на автомобильной платформе с прицепом (Mobile...).

4.3.3.2. Окисление

Окисление проводят с целью обезвреживания производственных сточных вод, содержащих токсичные примеси или соединения, извлечение которых нецелесообразно. В качестве окислителя используют хлор, гипохлориты натрия и калия (NaClO и KClO), диоксид хлора ClO₂, озон, технический кислород и кислород воздуха, пероксид водорода H₂O₂, перманганат калия KMnO₄, бихромат калия K₂Cr₂O₇ и другие неустойчивые вещества, выделяющие при разложении химически активный атомарный кислород, служащий энергичным окислителем. При окислении растворенные ядовитые вещества переходят в нетоксичные соединения, в том числе выпадающие в осадок и удаляемые последующими отстаиванием или фильтрацией. Наиболее часто используют хлорирование и озонирование сточных вод, являющиеся одними из самых распространенных способов их очистки от ядовитых цианидов и ряда других органических и неорганических со-

единений. Цианиды в сточных водах образуются на машиностроительных и металлообрабатывающих заводах в гальванических цехах, а также при промывке изделий после закалки их в расплаве цианидов. Обычное содержание цианидов в таких сточных водах составляет 20-100 мг/л и более.

При хлорировании вводимый в воду хлор через ряд элементарных стадий реакции превращает цианиды в безвредные диоксид углерода и азот. Суммарная реакция окисления хлором цианистой кислоты выглядит следующим образом:



Хлорирование в настоящее время является самым распространенным среди химических методом обеззараживания воды. Реагент сравнительно недорог, активен, обладает широким спектром антимикробного действия, легко дозируется и контролируется. В основном используется сжиженный хлор, сохраняемый под давлением в баллонах.

Последнее обуславливает один из серьезных недостатков обработки воды хлором, так как создается потенциальная опасность возникновения чрезвычайных аварийных ситуаций.

Кроме того, многочисленные данные свидетельствуют, что хлорирование питьевой воды и сточных вод приводит к образованию хлорорганических соединений, в том числе хлораминов и хлороформа. Содержание последнего, как правило, на 1-3 порядка больше, чем других летучих галогенорганических соединений. Хлорорганика вызывает высокие уровни мутагенной активности и токсичности, канцерогенные эффекты. Это усугубляется тем, что образующиеся хлорорганические соединения обладают высокой стойкостью, вызывая загрязнение водоемов на значительной площади и практически не извлекаясь в процессе водоподготовки.

В связи с изложенным потребление хлора в Европе, США, Японии сокращается. Однако, несмотря на многочисленные недостатки хлора и его соединений, отказ от них полностью в водоподготовке в ближайшее время невозможен, поскольку ни один метод (кроме серебрения воды) не обладает необходимым последствием, что весьма важно для сохранения качества воды в распределительных сетях. Поэтому какими бы другими методами ни обрабатывали воду (озонирование, ультрафиолетовое облучение и т.п.), ее необходимо хлорировать перед подачей в сеть (Гончарук...).

Метод озонирования, впервые использованный во Франции для обработки питьевых вод (1897 г.), в настоящее время зачастую рассматривается как альтернатива хлорированию. В качестве составляющей общего технологического процесса он применяется на тысячах водопроводных станций Европы, в основном во Франции, Германии и

Швейцарии. Только в Германии в 1997 г. насчитывалось около 3 тыс. станций озонирования, в том числе для подготовки питьевой воды — 388, в оборотном водоснабжении — 239, на канализационных очистных сооружениях — 134, в плавательных бассейнах — 1908, в производстве прохладительных напитков — 404 (Жуков...). Озонирование используют также в Японии и США. В России начиная с 1976 г. озонирование внедрено или готовилось к внедрению на водопроводных станциях Москвы, Н.Новгорода, Кургана, Тюмени, Ярославля, Самары, Перми и других городов.

Основные преимущества озона в сравнении с иными реагентами:

большая, чем у хлора, активность, одновременно с обеззараживанием удаляются другие загрязнения воды (цветность, запах, привкус, железо, марганец и т.д.);

высокая биоцидная активность, в том числе в отношении вирусов и цист простейших;

увеличение эффективности последующих стадий водообработки — коагуляции и флокуляции;

компактность установок, удобство их эксплуатации, меньшая громоздкость реагентного хозяйства;

отсутствие побочных токсичных хлорорганических продуктов реакции, улучшение экологического состояния водоемов вследствие исключения последствия очищенных и обеззараженных сточных вод на жизнедеятельность водоемов;

получение непосредственно на очистных сооружениях в озонаторах; постоянство рН или солевого состава очищаемых сточных вод.

Обычная концентрация озона в озоновоздушной смеси составляет 10-20 г/м³.

Ограничения по применению озона:

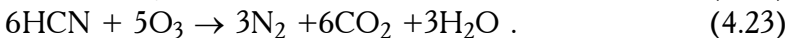
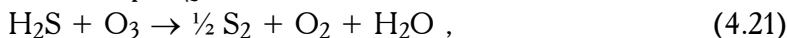
неустойчивость в воде. Полагают, что по этой причине он не может быть использован в качестве конечного дезинфицирующего средства в распределительной системе;

высокая энергоемкость и стоимость озонаторных установок. Суммарное потребление энергии станцией достигает 30-40 кВт·ч/кг озона и более, необходимо теплоснабжение станции озонирования.

Отмечается также образование в озонированной воде альдегидов. Предполагается что некоторые из них канцерогенны, их присутствие повышает возможность биологического обрастания трубопроводов, вторичного загрязнения воды микробиологическими соединениями (Драгинский... 2002). Кроме того, озон — загрязнитель первого класса опасности, его водные растворы чрезвычайно коррозионны.

Помимо обеззараживания, озон применяют для очистки сточных вод от тяжелых цветных металлов, цианидов, сульфидов, фенолов и

других органических примесей. Окисление им сероводорода и цианидов протекает по реакциям



Реакции (4.21) и (4.22) идут одновременно, но при избытке озона преобладает вторая.

Степень обезвреживания цианидов зависит от их концентрации и продолжительности озонирования. При концентрации 0,25-0,50 г/л в течение 60 мин окисляется 40-70% цианидов, а при концентрации около 0,1 г/л — до 100%.

Эффективность озонирования увеличивается, если предусматривается последующая обработка стоков на активированных углях. Об этом свидетельствует, в частности, действующая во Франции более 20 лет установка производительностью 200 м³/ч для очистки сточных вод.

Обработку хлором или озоном проводят в окислительных колоннах или контактных камерах (рис. 4.15). Если в растворе находится какой-то другой окислитель, то его сначала подают в смесители, а затем в контактный резервуар.

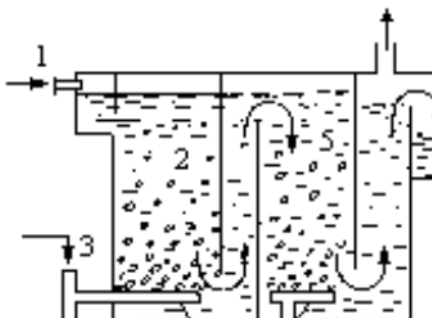


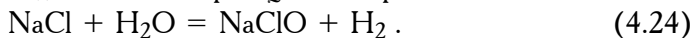
Рис. 4.15. Схема контактной камеры озонирования сточных вод:

- 1 — ввод сточных вод; 2, 5 — камеры озонирования; 3 — ввод озона; 4 — металлокерамические распылительные трубы; 6 — вывод сточных вод

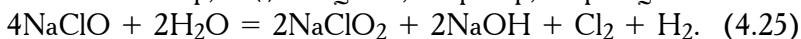
Наряду с озонированием и непосредственным хлорированием в последние годы получает распространение очистка сточных и питьевых вод с использованием гипохлорита натрия, диоксида хлора, пероксида водорода.

Обеззараживание питьевой воды гипохлоритом натрия в нашей стране было внедрено в 1997 г. (водопроводная станция пос. Пролетарский Новгородской области производительностью 3 тыс. м³/сут. Реагент получают на месте его потребления электролизом артезианской воды с концентрацией 2 г/л хлористого

натрия; используются стальные катоды и титановые, с добавками оксида рутения, аноды. Основная реакция электролиза:

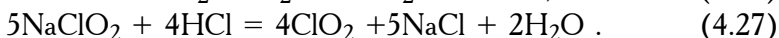
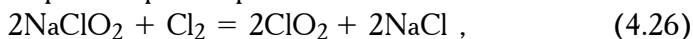


Выделяющийся водород вентиляцией удаляется в атмосферу. Раствор гипохлорита натрия самотеком по трубопроводу подается на первичное (смеситель) и вторичное (в резервуар чистой воды) хлорирование. Воду очищает активный хлор, выделяющийся, например, по реакции:



За рубежом используют станции производительностью 400 тыс. м³/сут. и более (*Драгинский... 2006*).

Диоксид хлора представляет собой газ желто-оранжевого цвета с резким запахом хлора. При 11°C он сжижается, при 30-50°C разлагается, при 65°C разлагается со взрывом. Как и гипохлорит натрия, диоксид хлора можно производить на месте его потребления, например при окислении хлората натрия хлором или соляной кислотой:



Выделяют следующие преимущества применения диоксида хлора в сравнении с хлором:

длительный (до 7 сут) бактерицидный эффект в водораспределительных системах, что предотвращает вторичное их загрязнение микробиологическими отложениями и микробами. Благодаря этому реагент в настоящее время используют на заключительных технологических этапах подготовки питьевой воды в больших системах водораспределения, например Дюссельдорфа, Цюриха, Брюсселя, Парижа;

весьма малые концентрации ClO_2 , применяемые для дезинфекции воды. В большинстве случаев они составляют 0,1-0,5 мг/л;

отсутствие в продуктах обработки хлорорганических соединений;

улучшение органолептических свойств воды, в том числе уничтожение дурных запахов, высокая степень окисления органики (до CO_2).

Обычная для питьевой воды схема очистки включает стадии коагуляции, первичного окисления, фильтрации и, наконец, дезинфекции с помощью диоксида хлора.

Диоксид хлора внедрен для очистки не только питьевых, но и сточных вод США (~600 установок), а также в Европе, Израиле, Японии. Применение его может быть многообразным: на одной из стадий очистки, многократно на различных стадиях в сочетании с другими дезинфекторами, окислителями и вспомогательными реагентами. Эффективно его использование для обеззараживания прошедших очистку сточных вод перед сбросом их в водоем. Он применяется и во многих отраслях пищевой, текстильной, целлюлозно-бумажной и лакокрасочной промышленности.

Недостаток диоксида хлора заключается в его взрывоопасности при концентрациях, превышающих 3,44 об.%. Кроме того, достаточно

сложны способы получения этого реагента, требующие специального оборудования и квалифицированного персонала (*Корженяк...*). Указывается также, что при его использовании образуются соединения (хлорит- и хлорат-ионы), обладающие токсичными свойствами. Стоимость диоксида хлора в 20-30 раз выше, чем хлора (*Драгинский... 2006*).

Пероксид водорода получил широкое распространение за рубежом при очистке стоков примерно 20 отраслей промышленности, в коммунальном хозяйстве, для дренажных и шахтных вод. Совместное использование пероксида водорода и ультрафиолетового излучения или их комбинации в сочетании с озоном позволяет, подобно радиационному воздействию, разрушать практически все окисляемые примеси воды.

Преимущества данного реагента в сравнении с другими окислителями (хлорноватистая кислота HClO , озон) заключаются в его относительной стабильности в водном растворе, отсутствии вторичных продуктов при деструкции и окислении органических загрязняющих веществ, возможности обработки воды в широком диапазоне температур и рН, сравнительной простоте введения в воду. По различным оценкам, до 25% производимого в мире пероксида водорода расходуется на цели охраны окружающей среды. Однако в нашей стране применению этого окислителя не уделяется должного внимания из-за недостаточно развитой базы его промышленного производства.

Показатели некоторых окислительных способов очистки даны в табл. 4.1.

Табл. 4.1

Экономические показатели некоторых методов обеззараживания воды, цент/м³ (*Денисова...*)

Метод	производительность станции, м ³ /сут		
	4000	40000	400000
Хлорирование (сжиженный хлор)	0,9	0,37	0,19
Хлорирование с последующим дехлорированием диоксидом серы	1,12	0,48	0,24
Хлорирование с последующим дехлорированием диоксидом серы и аэрацией	1,95	0,63	0,33
Хлорирование с дехлорированием на активированном угле	4,78	2,2	0,85
Хлорирование (15%-й р-р гипохлорита натрия)	1,78	0,88	0,44
Озонирование	2,0	1,05	0,78

Помимо очистки сточных вод с помощью реагентов-окислителей, используют и *термоокислительные методы*, основанные на окислении примесей при повышенной температуре и дающие значительный эффект обезвреживания. К этим методам относятся парофазное, включая каталитическое, и жидкофазное окисление. Парофазное окисление без катализатора реализуют при 800-1000°C и избытке кислорода. Жидкофазное окисление проводят кислородом воздуха при 200-300°C и давлении 10-15 МПа в течение 30-60 мин. Однако известны способы автоклавного окисления при температурах до 600°C и давлении до 25 МПа. Они предназначаются в основном для обезвреживания углеводородных примесей, не смешиваемых с водой в обычных условиях. Термоокисление используют при небольших расходах высококонцентрированных сточных вод.

4.3.4. Физико-химические

Физико-химические методы основаны на явлениях химического характера, получающих развитие под влиянием изменения термодинамических параметров (давление, объем, температура и т.д.). При этом имеют место нестехиометрические превращения одних веществ в другие, изменение их поверхностных, межфазных и иных свойств, процессы смешанного (физического и химического) характера. Таким образом, эти способы очистки базируются на совокупности взаимосвязанных явлений, пограничных между физическими и химическими.

Физико-химические методы используют для удаления примесей коллоидных размеров и растворенных. В зависимости от местных условий, их применяют на промежуточных или конечных стадиях очистки. Этим методам могут предшествовать или осуществляются после них химические (нейтрализации, окисления, восстановления и др.) и физические способы, например фильтрование. Физико-химические методы пригодны для осаждения токсичных металлов и их солей, удаления масел и суспендированных веществ, осветления стоков со снижением БПК и ХПК. Выбор конкретного способа определяется свойствами и количеством стоков. В основе каждого метода лежит соответствующий физико-химический процесс.

4.3.4.1. Коагуляция и флокуляция

Теоретические аспекты процессов коагуляции и флокуляции рассмотрены нами в «Технологиях...». Здесь отметим лишь, что эти процессы, в целом характерные для коллоидных систем, распространены,

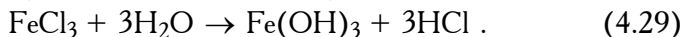
в частности, в сточных водах. Будучи в большинстве случаев лиофильными коллоидными системами суспензионного и эмульсионного типов, вредные примеси стоков могут быть достаточно кинетически и агрегативно устойчивыми и не осаждаются в течение неопределенно долгого времени. Для нарушения их устойчивости используют реагентные и безреагентные методы, общим свойством которых является снятие тем или иным способом заряда с поверхности коллоидной примеси. Развивающаяся при этом потеря агрегативной устойчивости (слияние частиц) ведет к их оседанию, т.е. к очистке стоков.

Реагентные методы

Реагентные методы предусматривают усиление коагуляции и флокуляции коллоидных токсичных веществ сточных вод определенными химическими соединениями (коагулянтами и флокулянтами). При этом, в отличие от классического смысла терминологических понятий коллоидной химии, в практике обработки воды термин «коагуляция» относят к процессам дестабилизации, а термин «флокуляция» означает последующее укрупнение нейтральных коллоидов. Как известно, в коллоидной химии коагулянты и флокулянты различают как астабилизаторы соответственно неорганических и высокомолекулярных коллоидных систем (кн. 1, разд. 2.10.4).

В качестве *коагулянтов* для очистки сточных вод используют химические вещества, из которых по экономическим соображениям наиболее часто применяют соли алюминия и железа: сульфат натрия (жидкий или сухой), алюминат натрия, смесь сульфата натрия или сульфата двухвалентного железа с известью и др. Дозы коагулянтов устанавливаются опытным путем, в зависимости от качества обрабатываемой воды и требуемой степени очистки. Обычно они составляют 100-500 г/м³ промышленных и бытовых стоков.

Действие коагулянтов основано на том, что, будучи солями сильных кислот и слабых оснований (гидроксидов алюминия и железа), перечисленные алюминий- и железосодержащие соединения способны к гидролизу, например:



Образующиеся в результате гидролиза положительно заряженные высокодисперсные с большой избыточной поверхностной энергией гидроксиды алюминия и железа обладают высокими сорбирующими свойствами, захватывают отрицательно заряженные коллоидные частицы примесей (почвы, микрофлоры и др.) и при надлежащих гидродинами-

ческих условиях оседают на дно отстойника. Назначение извести и других щелочных добавок в коагулирующих смесях — нейтрализация иных продуктов гидролиза (серной и соляной кислоты).

Необходимым условием эффективного использования коагулянтов (сокращения их расхода) являются оптимальные значения рН стоков. Для $Al(OH)_3$ они составляют 4,5-7,0; для $Fe(OH)_3$ — 4-6 и 8-10.

В ряде случаев в качестве коагулянтов используют катионные органические полиэлектролиты со средней концентрацией 0,5-1,0 г/м³. Их применяют в комбинации с солями металлов, что позволяет существенно снизить долю последних. Иногда катионные электролиты вводят без минеральных коагулянтов, что приводит к значительному уменьшению объема осадка.

Следует учитывать, что коагулянты, гидролизуя, сами быстро коагулируют и время их коагуляции мало (менее секунды). Наилучшие результаты очистки достигаются, если коллоидные частицы загрязнений полностью нейтрализованы еще до того, как часть коагулянта начнет образовывать осадок. Отсюда вытекает необходимость как можно более быстрого полного смешения коагулянта со стоками. Обычно для этого используют статические и механические смесители.

Статические смесители (винты, диафрагмы, конусы и т.д.) устанавливают внутри труб, создавая турбулентный поток, достаточный для мгновенного распределения коагулянта. Эти устройства очень эффективны при полном заполнении трубы жидкостью, но их результативность резко снижается при меньшем расходе воды. Кроме того, они создают значительные потери напора в трубе.

Механические смесители представляют собой высокоскоростные мешалки (пропеллерные или турбинные), устанавливаемые в специальной камере смесителя.

Методы обработки сточных вод с применением *флокулянтов* значительно ускоряют процессы агрегации осаждающихся частиц.

Флокулянты классифицируют по составу (неорганические, органические), способу получения (синтетические, природные), агрегатному состоянию (твердые и жидкие органические флокулянты), электрическому заряду (анионные, катионные, неионогенные).

К *неорганическим флокулянтам* относится активная кремнекислота, некоторые типы глин, мел, осажденные высокодисперсные карбонаты кальция, порошкообразный активный уголь, мелкий песок, кизельгур (диатомитовая земля). Активная кремнекислота является первым нашедшим промышленное применение флокулянтом, который дает наилучшие результаты в сочетании с сернокислым алюминием. До сих пор она широко применяется в процессах обработки питьевой воды.

Органические флокулянты представляют собой длинные цепочечные макромолекулы (полимеры), природные или синтетические. Они несут электрический заряд или содержат группы, способные к ионизации.

К *природным органическим флокулянтам* относятся *альгинаты* (экстракты из водорослей), крахмал, некоторые вещества на основе целлюлозы и смолы.

Природные полимеры недостаточно эффективны. Более действенны *синтетические органические флокулянты*, известные как *полиэлектролиты*. В зависимости от характера активных групп, полиэлектролиты делят на неионогенные, анионные и катионные.

Неионогенные полиэлектролиты представлены почти исключительно *полиакриламидами* (молекулярная масса 1-30 млн) — малодиссоциированными соединениями, несущими отрицательный поверхностный заряд.

Анионные полиэлектролиты имеют столь же высокую молекулярную массу, но содержат отрицательно заряженные ионные группы (карбоксильные или сульфогруппы). Наиболее известны среди этих веществ полиакриламиды, частично модифицированные содой (полиакрилат натрия).

Катионные полиэлектролиты имеют положительно заряженные катионные группы (полиэтиленамин, поливиниламин).

Флокулянты вводят в стоки после коагулянтов. Выбор типа флокулянта, а также временного интервала между введением коагулянта и флокулянта осуществляется опытным путем.

При использовании твердых органических флокулянтов для приготовления рабочих растворов необходимо применять смесители. Жидкие флокулянты можно смешивать достаточно медленно. Концентрация рабочих растворов при добавлении в воду составляет 0,05-1,0%, время перемешивания 20-120 с.

После введения рабочего раствора флокуляцию проводят в камере хлопьеобразования в течение 5 мин при медленном перемешивании лопастными горизонтальными или вертикальными мешалками, исключая разрушение образующихся хлопьев. К этому же стремятся при подаче стоков из камеры хлопьеобразования в зону отстаивания, ограничивая скорость поступления в нее потока величинами 0,2-1,0 м/с.

Масштабы применения коагулянтов существенны. Так, например, Россия, Западная Европа, США ежегодно производят по 1 млн т сульфатных коагулянтов. Однако, несмотря на широкую распространенность, реагентные методы имеют крупный недостаток. Расчеты показывают, в частности, что минимальная растворимость гидроксидов

многих тяжелых металлов превышает их ПДК в водоемах рыбохозяйственного назначения в 10-11000 раз, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения до 1100 раз. Таким образом, реагентные методы очистки в принципе не обеспечивают достижения ПДК во многих случаях (Оценка...).

Недостаток реагентных методов коагуляции состоит также в повышении содержания солей в очищенной воде, что становится особо существенным при организации замкнутых циклов водоснабжения. При высоком солесодержании сточных вод предпочтительнее использовать безреагентные электрохимические методы.

Безреагентные электрохимические методы (электро- и гальвано-коагуляция, электрофлотация)

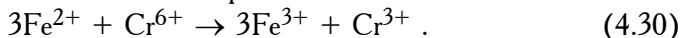
Электрокоагуляция. Очистка промышленных стоков этим способом основана на их электролизе с использованием металлических (стальных или алюминиевых) анодов, подвергающихся электролитическому растворению. Как следствие, вода обогащается соответствующими ионами, образующими затем в среде с рН 5-9 высокодисперсные гидроксиды железа и алюминия, с помощью которых и осуществляется процесс коагуляции.

Некоторые показатели процесса электрокоагуляции: плотность тока 0,6 А/дм², напряжение 10-18 В, продолжительность контакта сточных вод с электрическим полем 10-15 с, расход электроэнергии 0,4-0,5 кВт·ч/м³ стоков, скорость движения воды 0,5 м/с.

Помимо электролитического растворения, на электродах протекает еще ряд химических превращений, которые весьма различны, в зависимости от видов электролита и материалов электрода. В общем случае их можно свести к анодному окислению и катодному восстановлению. Так, на аноде выделяется кислород (продукт разрядки гидроксильных ионов воды) и хлор (разрядка ионов хлора — продукта диссоциации солей соляной кислоты), а также окисляются некоторые органические вещества сточных вод. На катоде удаляется газообразный водород (разрядка ионов водорода воды) и восстанавливаются некоторые органические вещества. Образовавшиеся пузырьки частично закрепляются на загрязнениях и флотируют их на поверхность, что способствует дополнительной очистке стоков. Поэтому процесс электрокоагуляции иногда называют *электрокоагуляционно-флотационным*.

В настоящее время электрокоагуляцию как способ очистки стоков используют предприятия машиностроения и приборостроения, химические, металлургические и другие для удаления ряда примесей (циани-

дов, шестивалентного хрома, ионов тяжелых цветных металлов, нитросоединений, спиртов, аэроокрасителей и т.д.). В частности, при очистке от ионов цветных металлов, например хрома, ионы двухвалентного железа, образующиеся при анодном растворении стального электрода, восстанавливают ионы более электроположительных металлов:



Одновременно происходит гидролиз ионов железа с образованием нерастворимых гидроксидов двух- и трехвалентного железа, а также, в некоторых случаях, и примеси, в нашем примере — $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Гидроксиды из электролита удаляют, в частности центрифугированием.

Сдерживающим фактором внедрения электрокоагуляции служат высокие расходы листового металла (алюминия и железа) и электроэнергии. Ее использование целесообразно для концентрированных органических и неорганических загрязнений при небольших объемах производственных сточных вод.

Одним из возможных направлений улучшения показателей этого способа, возможно, станет применение режима прерывистой коагуляции. Показано, например, что при соотношении периодов подачи и отключения электрического тока, равном единице, может быть получено сокращение энергопотребления и расхода металла в два раза. При этом эффект очистки сопоставим с достигаемым при непрерывной коагуляции (разность 5%), а ее себестоимость снижается на ~20% (Большаков).

Применение нерастворимых электродов — суть *электрофлотационного способа* очистки, в котором основную роль при удалении примесей играют газообразные продукты электролиза воды, пузырьки которых поднимают частицы загрязнений на поверхность. Этот способ в сравнении с электрокоагуляцией отличается большими плотностью тока (порядка $2\text{А}/\text{дм}^2$) и продолжительностью контакта жидкости с электродами (10-20 мин), расход электроэнергии около $1\text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$. Установки электрофлотации производительностью 10-15 $\text{м}^3/\text{ч}$ сточных вод обычно являются однокамерными, а при большей пропускной способности — двухкамерными горизонтального или вертикального типов.

В качестве нерастворимых анодов используют титан с покрытием на основе рутения и марганца в кислой среде и оксидов кобальта — в щелочной. Материал катода — нержавеющая сталь, графит.

К преимуществам электрофлотации относят высокую степень дисперсности пузырьков (20-80 мкм), возможность одновременного извлечения примесей, имеющих различный фазово-дисперсный состав, плавное регулирование скорости процесса за счет изменения степени насыщения жидкости пузырьками газа, меньшую, чем в отстойниках, влажность шлама (92-95%).

Электрофлотационный способ, разработанный в 1988 г. в Российском химико-технологическом университете, к 1996 г. был внедрен уже на 20 заводах. Организован выпуск технологического оборудования производительностью до 80 м³/ч очищаемых жидкостей (Колесников...).

Гальванокоагуляция основана на использовании эффекта работы короткозамкнутой гальванической пары Fe/C или Al/C, помещаемой в очищаемый раствор в аппарате барабанного типа. Переменный контакт элементов гальванопары (железа и кокса или замещающих их частиц чугуна) между собой, раствором и кислородом воздуха, обусловленный вращением барабана, увеличивает скорость растворения железа в 5-10 раз, обеспечивает быстрое его окисление до трехвалентного без наложения тока от внешнего источника, который необходим при электрокоагуляции. За счет разницы электрохимического потенциала железо поляризуется анодно и переходит в раствор. Кокс поляризуется катодно, поэтому защищен от химического растворения, однако возможно его небольшое механическое истирание. Таким образом, в основе процесса гальванокоагуляции лежит искусственно интенсифицируемый процесс коррозии.

В сравнении с электрокоагуляцией гальванокоагуляция имеет более простое аппаратное оформление, не требует прямых энергозатрат, позволяет использовать для очистки отходы производства, например железный и алюминиевый скрап.

Показана возможность использования гальванокоагуляции для очистки сточных вод от тяжелых металлов (меди, цинка, никеля, мышьяка), различных анионов, ПАВ. Степень удаления меди составляет 100%, цинка и никеля — 85 и 75% соответственно, сульфатов — 60-90%. В настоящее время данный метод используют как самостоятельный процесс в металлургии, радиоэлектронике, приборостроении, легкой и пищевой промышленности.

4.3.4.2. Экстракция

Экстракция — один из наиболее распространенных методов концентрирования и извлечения растворимых примесей из воды и водных растворов. В принципе, он отличается большой универсальностью, так как экстрагировать удастся почти все химические элементы и большинство классов соединений.

При очистке сточных вод рассматриваемый метод обычно используют для извлечения органических веществ (фенолов, спиртов, жиров и т.д.), применяя органические экстрагенты, малорастворимые в воде (бензол, четыреххлористый углерод, бутилацетат). Коэффициенты распределения

в зависимости от свойств рафината, экстрагента и экстрагируемого вещества могут достигать нескольких десятков и даже сотен единиц.

Экстракцией называют процесс распределения растворенного вещества между двумя несмешивающимися жидкими фазами с преимущественным его переходом в одну из них в соответствии с коэффициентом распределения (кн. 1, разд. 2.6.6.2). Жидкость, из которой извлекают (экстрагируют) вещество, называется *рафинатом*, а жидкость, в которую это вещество переходит, — *экстрагентом* (*растворителем, экстрагирующей фазой*).

По способу реализации различают экстракцию непрерывную и периодическую, прямоточную и противоточную, одно- и многоступенчатую.

При *прямоточной экстракции* рафинат и экстрагент после смешения перемещаются в одном направлении до зоны отстаивания.

При *противоточной экстракции* рафинат и экстрагент движутся в противоположных направлениях.

При *одноступенчатой экстракции* проводят однократное смешение рафината и экстрагента. *Многоступенчатую экстракцию* осуществляют неоднократным введением экстрагента в рафинат. Она наиболее распространена. Различают два основных вида многоступенчатой экстракции: противоточную и прямоточную. В прямоточном варианте на все ступени экстракции подают только чистый растворитель. В противоточном оформлении экстрагент i -й стадии экстракции отправляют на стадию $(i-1)$. Таким образом, исходный рафинат при входе на очистку встречается с наиболее отработанным растворителем, а при выходе промывается его чистой порцией.

Относительное количество φ экстрагируемого вещества, остающееся в исходной фазе, при n -кратной прямоточной экстракции и коэффициенте L экстракции:

$$\varphi = \frac{1}{(1+L)^n} \quad (4.31)$$

При противоточной экстракции :

$$\varphi = \frac{L-1}{L^{n+1}-1} \quad (4.32)$$

Анализ этих формул показывает следующее. При равном расходе экстрагента замена одноступенчатого варианта многоступенчатым существенно улучшает полноту очистки рафината или, при той же степени очистки, снижает расход экстрагента. Основная часть примесей может быть извлечена относительно малым числом n ступеней, тем

меньшим, чем выше величина коэффициента распределения. Увеличение n сверх 3 незначительно повышает полноту извлечения. В противоточном исполнении можно получить экстрагент, более богатый по извлекаемому компоненту, при равном его расходе в сравнении с прямоточной экстракцией добиться большей степени очистки. Очевидно также, что для повышения полноты извлечения следует выбирать экстрагент с высоким коэффициентом распределения.

Для интенсификации процесса экстракции смешение сточных вод с экстрагентом осуществляют в наполненных насадками типа колец Рашига одной или нескольких экстракционных колоннах. Количество последних соответствует числу ступеней очистки. В противоточном варианте, если плотность экстрагента меньше, чем стоков, его подают снизу, а стоки — сверху и выпускают их из нижней части колонны. При обратном соотношении плотностей экстрагент подают сверху, а стоки — снизу.

В ряде случаев отработанный экстрагент подвергают регенерации с целью извлечения примесей и повторного использования растворителя. Для регенерации применяют методы дистилляции, реэкстракции, кристаллизации и т.д.

Частным методом экстракции является *флотоэкстракция*, когда экстрагирование сочетают с флотацией. В этом случае через очищаемый раствор пропускают пузырьки газа, которые, в рамках обычного механизма флотации (кн. 1, разд. 5.3.4), поднимают примесь вверх к экстрагирующей фазе. При пересечении пузырьком межфазной границы он лопаются и примесь переходит в экстрагент.

В ряде случаев флотоэкстракция (*пенная сепарация*) более эффективна, чем обычная. Последняя основана на диффузионном распределении экстрагируемого вещества между двумя фазами, при этом максимальное количество примеси извлекается при достижении ее равновесного распределения. Теоретически это должно иметь место и при флотоэкстракции. Однако в реальном процессе при заданном потоке пузырьков количество перенесенного ими экстрактива существенно превышает обратный поток сверхравновесной массы извлеченного вещества, обусловленный лишь диффузией. Поэтому пенная сепарация при достаточной ее длительности позволяет очистить жидкую среду в большей степени, чем обычная экстракция.

4.3.4.3. Сорбция

Сорбционная очистка основана на процессах адсорбции из сточных вод растворенных и взвешенных в них примесей твердыми адсорбентами. Общие представления об адсорбции даны в «Технологиях...».

Сорбция является одним из наиболее рациональных методов глубокой очистки сточных вод. Она особенно эффективна в замкнутых циклах природопользования. Сорбция результативна при извлечении неэлектролитов и многих органических веществ, в том числе биохимически устойчивых и не удаляемых другими методами. В частности, от неэлектролитов воду можно очистить практически до нулевых концентраций при любых их исходных содержаниях, в том числе весьма малых, когда другие методы становятся малопригодными. Вместе с тем сорбционные методы неэффективны для очистки от неорганических соединений-электролитов и низших одноатомных спиртов. Исходя из особенностей сорбции, определены и традиционные области ее применения: очистка сточных вод химических и нефтехимических производств.

В качестве сорбентов могут быть использованы практически все мелкодисперсные твердые вещества, обладающие развитой поверхностью, в том числе опилки, зола, глина, торф, шламы, коксовая мелочь, сапропель, отходы сельскохозяйственного производства, компост опавших листьев и т.д. Однако наиболее эффективны активированные угли различных марок (АГ-2, БАУ, АР-3, СКТ и др.) с полной емкостью 70-150 см³/100 г и насыпной массой 260-600 кг/м³.

При организации процесса очистки различают сорбцию в статических и динамических условиях.

При сорбции в статических условиях производится интенсивное перемешивание обрабатываемой воды с сорбентом и последующее их разделение при отстаивании, фильтрации и т.п. В этом варианте сорбция является периодическим процессом и получила наибольшее распространение. Последовательным введением чистых порций сорбента в очищаемую воду, т.е. прямоточной многоступенчатой экстракцией, можно очистить ее от примесей до любой заданной концентрации. Еще более экономично использование сорбента в противоточной многоступенчатой сорбционной установке. В ней чистый сорбент вводится один раз на последней ступени очистки и затем перекачивается из каждой последующей ступени на предыдущую.

Сорбция в динамических условиях — непрерывный процесс. Она имеет большие технологические, эксплуатационные и экономические преимущества по сравнению со статическими условиями, позволяя полнее использовать емкость сорбента. Ее реализуют в аппаратах различных конструкций с неподвижным и подвижным слоями адсорбента.

Наиболее прост насыпной фильтр, представляющий колонну с неподвижным слоем сорбента, через который фильтруется сточная вода. Скорость фильтрования зависит от концентрации примесей и составляет 1-12 м/ч при крупности сорбента 1,5-5 мм. Предпочтительнее фильтрование снизу вверх, так как в этом случае происходит рав-

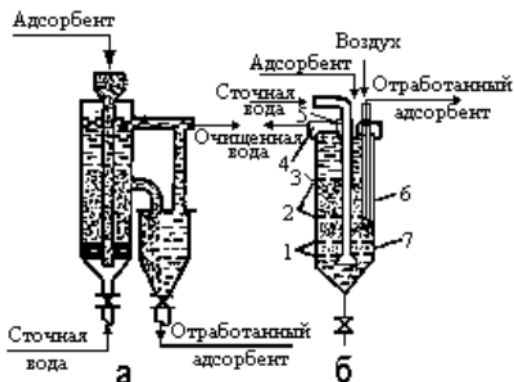


Рис. 4.16. Адсорберы непрерывного действия с кипящим слоем активированного угля:

а — однорядный; б — с секционированием слоя адсорбента; 1 — опорные решетки; 2 — распределительные решетки; 3 — адсорбент; 4 — желоб для очищенной воды; 5 — питающая воронка сухого дозирования угля; 6 — эрлифт; 7 — слой гравия

грязняющее вещество вследствие полного исчерпания их адсорбционной емкости. Обычно сорбционные установки представляют собой несколько параллельно работающих секций, состоящих из 3-5 последовательно расположенных фильтров, что позволяет выключать на регенерацию головной фильтр после его предельного насыщения.

Фильтры с неподвижным слоем эффективны при очистке стоков в тех случаях, когда при последующей регенерации сорбента выделяются относительно чистые и концентрированные продукты сорбции.

Применяют также адсорберы непрерывного действия с кипящим (подвижным) слоем активированного угля (рис. 4.16).

Поскольку активированный уголь дорог, разработаны методы его регенерации: паром, термические и химические.

4.3.4.4. Ионный обмен

Ионный обмен основан на частном случае адсорбции, на так называемой *обменной адсорбции*. Последнее имеет место в тех случаях, когда на поверхности адсорбента, приводимой в контакт с раствором

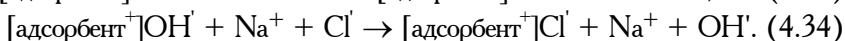
номерное заполнение всего сечения колонны и относительно легко вытесняются пузырьки воздуха или газов, попадающих в слой сорбента вместе с водой. По мере прохождения очищаемой жидкости через загрузку активного угля концентрация примеси в стоке снижается. На выходе из фильтра она составляет весьма небольшую величину. Так же постепенно, начиная от входного сечения, увеличивается насыщенность сорбента адсорбатом. Со временем сначала первые, а затем и последующие слои загрузки перестают извлекать из воды за-

электролита, уже адсорбирован другой электролит, что приводит к обмену ионов между поверхностным слоем адсорбента и жидкости. При этом адсорбент, поглощая определенное количество каких-либо ионов, одновременно выделяет в раствор эквивалентное количество других ионов того же знака, вытесненных с поверхности.

Ионный обмен происходит не только с примесными ионами поверхности адсорбента, но и с его диссоциированными молекулами. В некоторых случаях в подобных процессах обмена ионов принимают участие глубинные слои адсорбента, что, в строгом смысле, уже является абсорбционным процессом. Это резко повышает емкость поглощения соответствующего иона из раствора.

Обменная адсорбция имеет ряд особенностей. Во первых, она *специфична*, т.е. к обмену способны только определенные ионы, и на нее сильно влияет природа как твердой фазы, так и адсорбированного иона. Во вторых, обменная адсорбция *не всегда обратима*. В третьих, она протекает *медленнее*, чем адсорбция неэлектролитов при обычной сорбции, особенно в тех случаях, когда в обмен участвуют ионы, находящиеся в глубине адсорбента. И наконец, при обменной адсорбции может происходить *изменение рН среды*. Если адсорбент отдает водородный ион в обмен на другой катион, то рН среды уменьшается, и она подкисляется. Такой адсорбент называется *кислотным*. Если адсорбент отдает в раствор гидроксильный ион в обмен на анион, то раствор подщелачивается, а адсорбент называют *основным*.

В обоих этих случаях обмен ионов можно изобразить следующей схемой:



Адсорбенты, способные к ионному обмену, получили название *ионитов*. Их, в зависимости от характера ионного обмена, подразделяют на *катиониты* (катионный обмен) и *аниониты* (анионный обмен). Количество ионов (в г-экв.), обменивающееся с единицей объема или массы ионита, называется *обменной емкостью*.

Иониты по химическому составу подразделяют на неорганические и органические.

Неорганические иониты могут быть представлены оксидами, гидроксидами многовалентных элементов, а также солями гетерокислот, ферроцианидов. Неорганические иониты, в зависимости от рН раствора, часто обменивают одновременно и катионы, и анионы, т.е. возможна *молекулярная сорбция электролитов*. Из этого класса веществ широко известен гидроалюмосиликат натрия *пермутит* $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Его

применяют для умягчения воды за счет обменной реакции ионов натрия пермутита с ионами кальция воды.

Из органических наибольшее распространение в последнее время получили ионитовые смолы.

Ионообменные смолы представляют собой высокополимерную пространственную сетку углеводородных цепей (каркас), в которой закреплены активные ионогенные группы атомов, обуславливающие способность к обмену ионов.

Преимущества ионообменных смол перед другими ионитами заключаются в их высокой механической прочности, химической стойкости и большой сорбционной (обменной) емкости.

К распространенной катионитовой разновидности смол относятся сульфуголь, КУ-1 и КУ-2 с размером зерен 0,3-1,5 мм и объемной емкостью по катиону 300-800 г-экв./м³. Из анионитов широко используют АН-2ФН, АН-18-8 и АВ-17-8 с размером зерна 0,2-1,6 мм и объемной емкостью по аниону 700-1000 г-экв./м³. Разработаны также синтетические смолы селективного действия, пригодные для разделения аминокислот и амфотерных элементов. Получили известность иониты с оптически активными группировками, с помощью которых можно разделять оптические изомеры.

Большинство ионитов выпускаются и хранятся во влажном состоянии или под слоем воды. При высыхании ионит перед загрузкой замачивают в 20%-м растворе хлористого натрия.

Поскольку ионообменные смолы пока дефицитны и дороги, определенный интерес представляют разработки по использованию природных материалов, обладающих ионообменными свойствами. В этом направлении имеются перспективные исследования, связанные с применением торфа. Торф, химически модифицированный, например раствором щелочи натрия, близок по катионообменным свойствам к синтетическим ионитам. Его двадцатикратная регенерация не снижает объемной емкости. При ухудшении рабочих характеристик торф используют в качестве топлива. Особенно перспективно применение гранулированного торфа для удаления ионов тяжелых цветных металлов (свинца, цинка, никеля, меди, хрома) со степенью их извлечения 92-99%.

Для ионообменной очистки сточных вод применяют фильтры периодического или непрерывного действия. Фильтр непрерывного действия представляет собой закрытый цилиндрический резервуар с расположенным у дна щелевым дренажным устройством, обеспечивающим равномерный отвод воды по всему сечению фильтра со скоростью 20-30 м/ч. Высота слоя загрузки ионита составляет 1,5-2,5 м. На работу фильтра отрицательно влияют взвешенные частицы, масла,

ПАВ в подаваемой сточной воде, поэтому ее предварительно необходимо от них очищать.

В ряде стран применяются ионообменные колонны кассетного типа. Отработанные кассеты направляются на централизованный узел регенерации и заменяют новыми с регенерированными смолами без длительных перерывов в работе ионообменной установки.

Регенерация ионитов достаточно проста. При их восстановлении используется 2-4%-й раствор едких щелочей (для анионитов) или 2-6%-й раствор минеральных кислот, чаще всего соляной и серной (для катионитов). Восстановленная обменная способность составляет при этом 60-100%. Образующиеся при регенерации концентрированные растворы солей (элюаты) содержат также некоторое количество свободных кислот и щелочей и используются для технических целей или подлежат дальнейшей переработке. Отмывка ионита от регенеранта производится водой при скорости фильтрации 5-7 м/ч. Хорошая способность ионита к регенерации является одним из главных его достоинств.

Ионообменные методы дают возможность выполнять глубокую очистку стоков до ПДК с последующим их использованием в технологических процессах или системах оборотного водоснабжения. Иониты применяют в энергетической, химической, пищевой, фармацевтической промышленности и особенно широко — на предприятиях черной и цветной металлургии, машиностроения и металлообработки. С их помощью извлекают соединения фосфора, мышьяка, хрома, тяжелых цветных металлов, ртути, радиоактивных веществ, ПАВ. Они позволяют получить выделенные металлы в виде относительно чистых и концентрированных солей как отдельных технологических процессов и операций (цинкование, меднение, хромирование и т.п.), так и целых участков, цехов, в стоках которых содержится обширный спектр ионов металлов. Предпочтителен первый вариант, позволяющий получить концентрированные растворы отдельных металлов при регенерации ионитов, что облегчает их последующую переработку или использование.

Наряду с бесспорными достоинствами ионитовая обработка имеет и определенные недостатки: большое количество химикатов для регенерации, значительные объемы воды на отмывку, что создает большие циркуляционные нагрузки. Переработка элюатов во многих случаях сложна и неэкономична, эти растворы приходится обезвреживать с помощью реагентов, расход которых также велик. Кроме того, с нейтральными элюатами ионообменной установки в водоемы попадает значительно большее количество солей, чем при сбросе нейтральных сточных вод, не подвергающихся ионитовой очистке.

4.3.4.5. Мембранные методы

Мембранными называют методы, основанные на процессах массопереноса через полупроницаемые перегородки, в результате которых происходит отделение примесей от растворителей или дисперсионной среды. Их достоинство состоит в том, что они, в отличие от ионного обмена, не имеют стадии регенерации ионитов, требующей значительных количеств кислоты и щелочи и создающей проблему утилизации отходов.

К числу мембранных относятся диализ и баромембранные методы.

Последние лишь условно можно отнести к физико-химическим, поскольку протекающие при этом процессы выделения загрязнителей из жидких фаз имеют по существу физический характер. Однако с бесспорно физико-химическим процессом диализа их объединяет использование полупроницаемых перегородок.

Диализ

При *диализе* отделяют растворенные ионные примеси от примесей коллоидных размеров. Растворенное вещество проходит через мембрану, а более крупные коллоидные частицы не способны проникать через полупроницаемую перегородку и остаются в виде очищенного коллоидного раствора.

Материал полупроницаемой перегородки в зависимости от системы, подвергаемой диализу, может быть различным (бычий пузырь, пергамент, коллодий, целлофан).

Диализ значительно ускоряется наложением электрического тока. Такой вариант называется *электродиализом* и является наиболее распространенным в промышленности методом диализа.

Электродиализ используют для удаления из малоконцентрированных сточных вод минеральных солей, в том числе тяжелых цветных металлов, с целью повторного использования обессоленной воды для технических нужд и возможной утилизации солей. Пригоден он и для переработки высококонцентрированных сточных вод с регенерацией из них ценных продуктов.

В настоящее время широко используют электродиализ с применением ионитовых мембран. Наиболее распространены гетерогенные ионитовые мембраны, представляющие собой тонкие пленки, изготовленные из измельченной в порошок ионообменной смолы, в который также в виде порошка добавляют пластичный неэлектропроводный материал (полиэтилен, полистирол, фторопласт и др.). Кроме того, существ-

вуют гомогенные ионитовые мембраны. Ионитовые мембраны имеют ряд преимуществ: избирательную проницаемость (селективность), высокую электропроводность, низкую водопроницаемость, значительное диффузионное сопротивление.

Электродиализ ведут в многокамерных аппаратах (электродиализаторах), которые разделены чередующимися катионитовыми и анионитовыми мембранами (рис. 4.17).

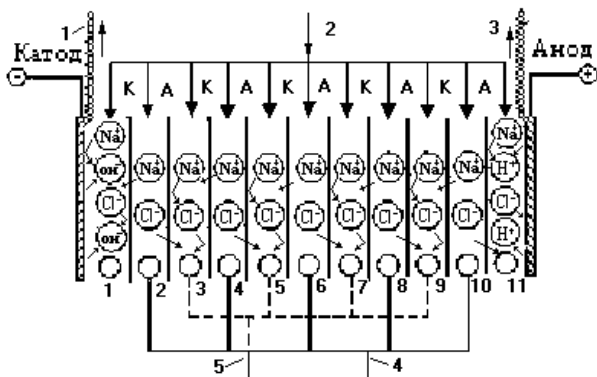


Рис. 4.17. Схема процесса электродиализа (цифры у кружков — номера камер):

А — анионитовые мембраны; К — катионитовые мембраны; 1 — выход газообразного водорода; 2 — подача сточной воды; 3 — выход газообразных кислорода и хлора; 4 — выпуск обессоленной воды; 5 — выпуск концентрированного рассола

Под воздействием постоянного тока катионы, двигаясь к катоду, проникают через катионитовые мембраны, но задерживаются анионитовыми, а анионы, перемещаясь в направлении анода, проходят через анионитовые мембраны, но задерживаются катионитовыми. В результате этого из одного ряда камер, например четных, ионы обоих знаков выводятся в другой, смежный ряд камер. Очищенная от солей вода выпускается по одному коллектору, а рассол — по другому. На 100-200 камер одного аппарата устанавливаются общий катод и анод, что многократно сокращает расход электроэнергии на разряд ионов на соответствующих электродах. Материал электродов обычно платинированный титан. Оптимальная концентрация солей в очищаемых стоках — 3-8 г/л, а после очистки — на уровне 300 мг/л.

В то же время неионизированные молекулы (в особенности органических веществ) и коллоиды остаются в обработанной воде. Отсюда следует, что наряду с основной областью применения электродиализа (получе-

ние из соленых вод питьевой воды с низким содержанием солей) он также имеет предпочтение при обессоливании коллоидных и органических растворов, в частности с целью деминерализации сывортки.

Отечественные электродиализные аппараты разделяют на два типа (прокладочные и лабиринтные), оба фильтр-прессной конструкции, но различающиеся направлением оси электрического поля. В аппаратах прокладочного типа она горизонтальна, а в лабиринтных — вертикальна. Их производительность достигает $25 \text{ м}^3/\text{ч}$, напряжение на электродах составляет $400\text{-}500 \text{ В}$ при расстоянии между мембранами $1\text{-}2 \text{ мм}$. Съем соли на аппаратах за один проход составляет $30\text{-}70\%$. В системе водоснабжения г. Рияд (Саудовская Аравия) электродиализная станция очищает до $2,5 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ соленых вод.

При организации технологических электродиализных систем очистки необходима тщательная предочистка: от взвешенных частиц — введением коагулянтов, а от органических веществ — пористыми адсорбентами (активированный уголь и др.).

Баромембранные методы

Наряду с электролизом к числу мембранных относятся методы, в которых массоперенос осуществляется под влиянием градиента давления. Они получили название *баромембранных*. В зависимости от радиуса пор мембран, эти методы разделяют на: обратный осмос (гиперфильтрацию) — радиус пор мембран менее 3 нм ; ультрафильтрацию ($3\text{-}100 \text{ нм}$), микрофильтрацию ($0,1\text{-}10 \text{ мкм}$).

Природа возникновения градиента давления в баромембранных методах одинакова. Рассмотрим ее на примере осмотического давления.

Осмотическое давление возникает, когда между чистым растворителем (водой) и раствором (например, сахара) устанавливают полупроницаемую мембрану, которая пропускает растворитель, но задерживает растворенное вещество.

Хотя вода проникает через такую полупроницаемую перегородку в обе стороны, скорость ее диффузии, например из наружного сосуда во внутренний (с раствором), всегда больше, чем в обратном направлении. Это явление, т.е. самопроизвольный переход растворителя в раствор, отделенный от него полупроницаемой перегородкой, называется *осмосом*.

Причины осмоса недостаточно ясны. Его можно объяснить, в частности, тем, что концентрация молекул H_2O в чистой воде выше, чем в водном растворе, и поэтому возникает ее преобладающий диффузионный поток в последний. Возможно, что молекулы H_2O в растворе частично связываются молекулами растворенного вещества, гидратируя

их или другим образом взаимодействуя с ними. При этом осмос не зависит в явной форме от вида растворенного вещества и растворителя. Решающее значение имеет лишь концентрация раствора, вернее — число частиц растворенного вещества в единице объема раствора.

Переход растворителя в раствор сопровождается увеличением объема последнего и, при его нахождении в достаточно узкой трубке, заметным возрастанием высоты столбика раствора и повышением гидростатического давления, под которым находится раствор. Следствием этого становится возрастание скорости обратного перехода молекул воды через полупроницаемую мембрану. Наконец, при некоторой высоте столба раствора в трубке скорости прямого и обратного перехода воды через мембрану сравняются и подъем жидкости в трубке прекратится. Давление, которое отвечает такому равновесию, может служить количественной характеристикой явления осмоса и называется осмотическим. Таким образом, *осмотическое давление* равно давлению, которое нужно приложить к раствору, чтобы привести его в равновесие с чистым растворителем, отделенным от него полупроницаемой перегородкой.

Установлено, что в достаточно разбавленных растворах осмотическое давление π прямо пропорционально концентрации C частиц растворенного вещества и абсолютной температуре T :

$$\pi = CRT, \quad (4.35)$$

где R — универсальная газовая постоянная.

В частности, для раствора сахара с концентрацией 1 моль/л осмотическое давление при 0°C равно 2,5 МПа.

Если к раствору соли приложить гидростатическое давление, превышающее осмотическое, то чистая вода начнет протекать в направлении, противоположном описанному выше, т.е. из раствора, а растворенное вещество будет задерживаться мембраной. Явление перехода растворителя из раствора через полупроницаемую перегородку при давлениях, превышающих осмотическое, получило название *обратного осмоса*. Его применяют для отделения примесей с молекулярной массой менее 500.

Скорость переноса воды через мембрану в процессе обратного осмоса прямо пропорциональна эффективному давлению, т.е. разности между приложенным и осмотическим давлением. Чтобы получить удовлетворительную скорость фильтрования, необходимо прилагать давления, намного превосходящие осмотическое. Практически они достигают 5-10 МПа.

При обратном осмосе задерживается 90-99% всех растворенных неорганических соединений, 95-99% органических веществ и 100%

мельчайших коллоидных примесей (бактерий, вирусов, коллоидной кремниевой кислоты и т.д.).

В настоящее время используют мембраны двух основных типов: из ацетицеллюлозы и из ароматических полиамидов. Толщина пленок составляет 0,1-0,2 мкм, радиус пор мембран, как отмечалось, менее 3 нм.

Мембраны являются основной частью технологических элементов, называемых *модулями*. Простейшая система, применяемая на практике, состоит из насоса высокого давления и модуля, соединенных последовательно. Сточная вода насосом подается на мембрану, чистая вода (фильтрат) проходит через нее, а сбросная вода удаляется через выпускной клапан.

В обратноосмотическую установку включают несколько модулей, которые собирают параллельно или последовательно.

При параллельной схеме все модули работают в одинаковых условиях: при одном и том же давлении и коэффициенте выхода фильтрата (отношение расходов очищенной и поданной вод). Такая система пригодна для большинства установок низкой производительности. Защита мембран и насосов высокого давления от загрязнения взвешенными веществами осуществляется фильтрами патронного типа.

Последовательное соединение модулей применяют, чтобы увеличить коэффициент выхода фильтрата. В данном случае раствор концентрата из первой ступени служит исходной водой для второй ступени. В двух-трехступенчатых установках обеспечивается коэффициент выхода фильтрата 70-90%.

В настоящее время известны четыре вида конструкций обратноосмотических аппаратов: а) типа фильтр-пресса; б) с трубчатыми мембранами; в) с мембранами, свернутыми в рулон; г) с мембранами в виде полых волокон.

Основной областью применения обратного осмоса является опреснение солоноватых (морских) и шахтных вод, получение ультрачистой воды. В последнее время его все больше используют для очистки промышленных сточных вод. Трубчатые конструкции для очистки сточных вод электростанций достигают общей площади 7000 м² и производительности 750 м³/ч стоков, оснащены фильтрами с длиной и диаметром соответственно более 5 и 2 м (Очистка...). Расширяется использование метода для удаления тяжелых цветных металлов из стоков гальванических производств. Установлено, что обратноосмотические мембраны задерживают цинк, никель, медь и хром шестивалентный на 96-99%. Способ нашел также применение для удаления некоторых низкомолекулярных органических веществ, ПАВ, красителей, особенно ценных или весьма опасных (радиоактивных) ионов металлов. Полу-

ченный концентрированный раствор зачастую является конечным продуктом или утилизируется.

В мире насчитывается свыше тысячи различных установок обратного осмоса. Их производительность — от $4 \cdot 10^3$ до $378 \cdot 10^3$ м³/сут. Наиболее мощная установка сооружена в г. Юм (США).

Ультрафильтрация, другой баромембранный способ, имеет много общего с обратным осмосом, в частности в конструктивном оформлении. Различия обусловлены более крупными (3-100 нм) радиусами пор мембран для ультрафильтрации. Это предопределяет меньшее давление, прилагаемое при ультрафильтрации (до 1,5 МПа) и его использование для отделения примесей с молекулярной массой более 500, т.е., как правило, высокомолекулярных соединений.

До недавнего времени большую часть мембран изготавливали из относительно дешевых полимерных материалов, производимых по отлаженной технологии. Однако им присущи недостатки: низкая механическая прочность, малая химическая стойкость, возможность разрушения активного слоя мембран микроорганизмами, узкий диапазон рабочих температур.

В последние годы получили распространение мембраны из неорганических материалов (США, Япония, Франция). Для их производства используют керамику и металлокерамику, нержавеющую сталь, оксиды алюминия, циркония, титана, сплавы никеля и т.п. К достоинствам неорганических мембран относятся высокие рабочие температуры, химическая, термическая, радиолитическая, биохимическая стойкость, значительная механическая прочность, многолетний срок эксплуатации, возможность стерилизации водяным паром.

Наиболее распространенной формой мембран является трубчатая. Во Франции их выпускают со следующими характеристиками: длина трубок 1,2 м; наружный диаметр 0,01 м, толщина 0,0002 м, поверхность модуля, в зависимости от числа трубок, 0,02-5,73 м². Общая поверхность модульных конструкций может составлять сотни квадратных метров. Температура разделяемых смесей достигает 150°C. Изготавливают также мембраны дисковой и сотовой форм.

Степень выделения маслопродуктов, свободных и связанных жиров при использовании неорганических мембран достигает 99,8% (Yano).

В настоящее время ультрафильтрацию применяют для: осветления вин и соков; разделения систем белок — соли (плазма крови); извлечения из молока белка, солей и сахара (при изготовлении жидких сыров); выделении ферментов и т.п. При очистке промышленных сточных вод ультрафильтрацию также обычно используют для удаления органических примесей: пигментов, окрасочных смол, технических ма-

сел, жирных кислот, фекалий. Однако известно применение метода для удаления неорганических частиц, например кремния.

В целом, обратный осмос и ультрафильтрация обладают существенными преимуществами в сравнении с традиционными методами: отсутствуют реагенты; энергозатраты невелики; установки просты и компактны, легко автоматизируются; не требуется квалифицированный персонал; фильтрат достаточно чист для подачи в оборотную систему водоснабжения; сконцентрированные вещества легче утилизировать или уничтожать.

Микрофильтрация в последнее время начинает внедряться для биохимической очистки стоков (разд. 4.3.5).

Еще более широкое применение баромембранной технологии, в особенности обратного осмоса, затруднено необходимостью использовать высокие внешние давления, достигающие 5-10 МПа.

4.3.4.6. Флотация

Этот способ рассматривается как один из основных в обогащении полезных ископаемых. Значительное распространение флотация получила и применительно к очистке сточных вод, в частности содержащих ПАВ, нефть, нефтепродукты, волокнистые материалы, т.е. для удаления коллоидных частиц. В отличие от обогащения полезных ископаемых, флотореагенты при очистке стоков обычно не применяют.

Флотацию можно использовать и для удаления растворенных веществ. Имеется в виду ионная *флотация*, получившая широкое распространение для извлечения ионов цветных металлов и предусматривающая введение ПАВ. Последние адсорбируются на границе раздела фаз сточная вода — воздух, т.е. концентрируются в пенном слое. Гидрофильная часть молекул ПАВ представляет собой активный центр, взаимодействующий с ионами металла в растворе и извлекающий их в пенный слой.

К достоинствам флотации относятся возможность очистки стоков от примесей при весьма низких их концентрациях, простое аппаратное оформление, малые производственные площади, занимаемые установками, небольшие объемы достаточно концентрированных осадков, высокая экономичность.

Флотация при благоприятных условиях обеспечивает 85-95%-ю степень очистки стоков. Для ее повышения часто используют предварительную коагуляцию. Практикой очистки производственных сточных вод выработаны различные конструктивные схемы, приемы и методы флотации, среди которых нет преобладающих.

Нет и единой классификации способов флотации. Наиболее часто ее связывают со *способом образования пузырьков*. По этому признаку различают: флотацию с выделением воздуха из раствора (вакуумная, напорная) и с механическим диспергированием воздуха (импеллерная, безнапорная, пневматические установки).

Флотация с выделением воздуха из раствора применяется для очистки сточных вод, содержащих самые мелкие пузырьки воздуха (15-30 мкм). Сущность ее состоит в создании пересыщенного раствора воздуха в жидкости. Его количество, которое необходимо выделить для обеспечения эффективной флотации, составляет обычно 1-5% объема сточных вод.

Вакуумная флотация заключается в том, что сточные воды предварительно насыщают воздухом в течение 1-2 мин в аэрационной камере. Далее под действием разрежения (0,02-0,03 МПа) они попадают во флотокамеру, где растворившийся воздух выделяется в виде микропузырьков и выносит частицы загрязнений в пенный слой. Пена вращающимися скребками удаляется в пеносборник. Продолжительность пребывания сточных вод во флотокамере составляет около 20 мин, нагрузка на квадратный метр площади поверхности равна приблизительно 200 м³/сут.

Преимуществом вакуумной флотации является то, что образование пузырьков газа, их слипание с частицами загрязнений и всплывание происходят в спокойной среде, а вероятность их разрушения сводится к минимуму. Минимальны также энергозатраты на насыщение жидкости воздухом, на образование и измельчение воздушных пузырьков.

К недостаткам метода относятся необходимость сооружения герметичных закрытых резервуаров, сложность эксплуатации вакуумных установок и ограниченный диапазон применения (для примесей с концентрацией не более 250 мг/л).

Напорная флотация получила широкое распространение и используется при концентрации загрязнений до 4-5 г/л и более.

При этом способе сточные воды насосом закачивают в напорный бак (сатуратор), в который под давлением 0,3-0,5 МПа подают воздух. Продолжительность пребывания сточных вод в сатураторе составляет 1-3 мин. Вода из сатуратора поступает во флотокамеру, в которой выделяющиеся из раствора пузырьки воздуха всплывают вместе с частицами взвешенных веществ. Всплывающая масса непрерывно сгребается в пеносборники.

Напорные флотоустановки с производительностью до 100 м³/ч выполняют прямоугольными в плане и с глубиной 1,0-1,5 м. При производительности более 100 м³/ч устанавливают двухкамерные радиальные флотаторы глубиной не менее 3,0 м (рис. 4.18). В первом отделе-

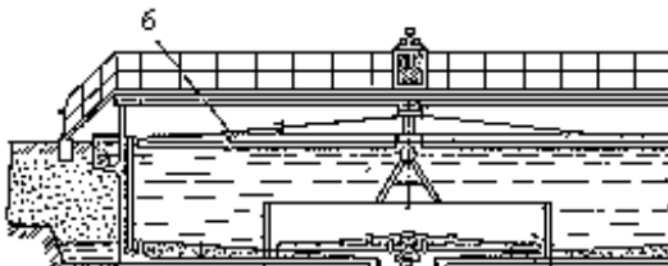


Рис. 4.18. Радиальный флотатор:

1, 2 — соответственно отстойная и флотационная камеры; 3 — вращающийся водораспределитель; 4 — подача сточной воды; 5 — опорожнение флотатора и отвод осадка; 6 — механизм для сгребания пены; 7 — выпуск обработанной сточной воды

нии происходит образование пузырьков воздуха и агрегатов пузырьки-частица, а во втором — всплывание пены и осветление жидкости. Глубина зон флотации и отстаивания назначается не менее 1,5 м, продолжительность пребывания в них воды рассчитывается соответственно на более чем 5 и 15 мин. Подача сточных вод в напорный флотатор осуществляется снизу. Производительность его достигает $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Кроме радиальных, используют также горизонтальные и вертикальные конструкции флотаторов.

Флотация с механическим диспергированием воздуха наиболее распространена применительно к импеллерным установкам (рис. 4.19). Диспергирование в данном случае основано на следующем. При быстром вращении турбинки за ее лопастями создается пониженное давление. Как следствие, воздух засасывается из атмосферы по трубе и диспергирует в жидкости на мелкие пузырьки. Решетки, расположенные вокруг импеллера (на рис. 4.19 не показаны) способствуют более мелкому диспергированию воздуха в воде. Скорость вращения импеллера принимается равной 12-15 м/с, его диаметр не превышает 750 мм. Другие параметры: сечение флотокамеры (в плане) квадратное со стороной не более 6 м, высота камеры 1,5-3,0 м, продолжительность флотации 20-30 мин при расходе воздуха $30\text{-}50 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{м}^2$ площади флотомашины. Площадь, обслуживаемая одним импеллером, обычно равна $30\text{-}50 \text{ м}^2$.

Применение импеллерных установок целесообразно при очистке сточных вод с высокой концентрацией грубодисперсных нерастворимых соединений (более 2-3 г/л), а также содержащих нефть, нефтепродукты, жиры.

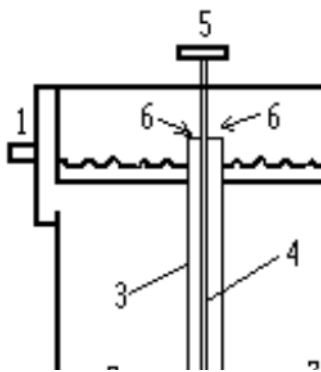


Рис. 4.19. Схема флотационной установки с импеллером:

- 1 — подача сточной воды; 2 — импеллер; 3 — воздушная труба; 4 — вал; 5 — привод; 6 — засасываемый воздух; 7 — направление движения пузырьков воздуха; 8 — отвод очищенной воды

Недостатком импеллерных конструкций является выдача относительно высокообводненной пены, что заставляет создавать дополнительные установки по ее обработке в случае, когда основная цель флотации заключается в извлечении растворимых ПАВ.

Схемы флотации в *безнапорных установках* с механическим диспергированием воздуха аналогичны напорной, но в ней отсутствует сатуратор. Диспергирование воздуха происходит за счет вихревых потоков, создаваемых рабочим колесом центробежного насоса. Образующиеся пузырьки имеют большую крупность, поэтому эффект флотации мелких частиц понижен. Установки применяют для очистки сточных вод от жира и шерсти.

Пневматические флотационные установки используют при очистке сточных вод, содержащих растворенные примеси, агрессивные по отношению к материалам движущихся частей (насосам, импеллерам). В этом случае воздух подается непосредственно во флотационную камеру через сопла

воздухораспределительных трубок, уложенных на расстоянии 0,25-0,30 м друг от друга. Диаметр отверстий сопел 1,0-1,2 мм; рабочее давление перед ними 0,3-0,5 МПа, скорость выхода струи 100-200 м/с. Глубина флотатора составляет 3-4 м, продолжительность флотации 15-20 мин, интенсивность аэрации 15-20 м³/м²·ч.

Частным случаем пневматической флотации является *флотация с подачей воздуха через пористые материалы*. Ее иногда выделяют в самостоятельную группу. В таком варианте воздух во флотационную камеру подают через мелкопористые пластины, трубы, насадки, уложенные на дно камеры и имеющие отверстия 4-20 мкм. Давление воздуха перед ними составляет 0,1-0,2 МПа, продолжительность флотации 20-30 мин, уровень обрабатываемой воды равен 1,5-2,0 м.

Недостатки метода состоят в возможном зарастании и засорении пор, а также в трудностях подбора пористых материалов, обеспечивающих получение мелких близких по размерам пузырьков воздуха.

4.3.4.7. Ультрафиолетовое облучение и другие методы энергетического воздействия

Ультрафиолетовое облучение обусловлено невидимой частью оптического диапазона электромагнитных колебаний, расположенной за крайними фиолетовыми лучами. Длина УФ-волн составляет 0,4-0,005 мкм. Их в заметном количестве испускают тела с температурой в несколько тысяч градусов, поэтому в излучении ламп накаливания они практически отсутствуют. Однако значительное УФ-излучение инициирует электрическая дуга, особенно в присутствии паров ртути (ртутные лампы).

В диапазоне волн 200-300 нм оно губительно действует на микроорганизмы. Гибель бактерий происходит в основном за счет необратимого повреждения молекул ДНК. Степень дезактивации (отношение конечной концентрации N микроорганизмов к их начальной концентрации N_0 до облучения) определяется выражением:

$$N = N_0 \exp (-Et/k), \quad (4.36)$$

где Et — доза облучения;

t — время облучения;

E — интенсивность облучения;

k — сопротивление микроорганизма.

В регламентирующих документах ряда стран принято, что для эффективного обеззараживания воды необходимы дозы ультрафиолетового облучения не менее 16 мДж/см². Чаще всего они составляют 16-40 мДж/см², в зависимости от качества обрабатываемой воды, ее назначения, применяемого оборудования и других факторов.

В соответствии с методическими указаниями Минздрава России «Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения и технологией подготовки питьевой воды» (№ 2.1.4.719-98), этот вид обработки можно использовать на этапах заключительного и предварительного обеззараживания воды. В последнем случае величина дозы ультрафиолетового излучения не регламентируется. При заключительном обеззараживании она должна быть не менее 16 мДж/см² для всего объема воды, прошедшей через установку. Однако обеспечение бактерицидного эффекта не гарантирует уничтожение вирусов, которое необходимо обеспечивать на предшествующих этапах водоподготовки (коагуляция, фильтрация).

При очистке стоков, в соответствии с МУ 2.1.5.732-99 «Санитарно-эпидемиологический надзор за обеззараживанием сточных вод», ультрафиолетовое излучение рекомендуется применять для потоков, прошедших полную биологическую очистку и доочистку и характери-

зующихся следующим качеством: взвешенные вещества и БПК₅ не более 10 мг/л каждого, ХПК не более 50 мг/л, число термотолерантных колиморфных бактерий 5-10/л, коли-фаги в пределах 5-10 БОЕ/л. Для всего объема воды, прошедшего через аппарат, устанавливается доза излучения не менее 30 мДж/см².

Разработаны три принципиальные схемы размещения УФ-аппаратов: 1) открытые УФ-лампы, расположенные над текущим либо рядом с падающим потоком воды; 2) лампы, окружающие поток, проходящий через кварцевую либо другую прозрачную для УФ-излучения трубу; 3) лампы в прозрачном чехле, погруженные в поток. Распространенным источником УФ-излучения бактерицидного диапазона являются лампы на парах ртути и инертных газов.

В настоящее время используют два основных типа ультрафиолетовых ртутных излучателей (бактерицидных ламп): ртутные газоразрядные лампы низкого (НД) и высокого (ВД) давления. За рубежом последние называют лампами среднего давления.

Лампы НД (3-4 мм рт. ст.) преобразуют до 40-50% электрической энергии в энергию бактерицидного излучения, имеют незначительную мощность единичного источника (до 0,2 кВт) и рабочую температуру поверхности 40°C. При их излучении в среде не образуются токсичные побочные продукты, но может изменяться химический состав воды в результате фитохимических превращений растворенных в ней веществ.

Лампы высокого (среднего) давления (400-800 мм рт. ст.) характеризуются сплошным спектром излучения начиная с 220 нм, имеют единичную мощность до 10 кВт при КПД 6-8%. Остальная энергия выделяется в виде тепла и видимого света, в связи с чем эти лампы работают при температуре поверхности более 600°C. Высокая единичная мощность ламп ВД позволяет упростить конструкцию и уменьшить габариты установки, но достигается это пятикратным снижением ее КПД.

Сроки эксплуатации ламп НД и ВД достигают соответственно 12000 и 5000 ч. Спад интенсивности в их конце составляет обычно 20-40%.

В последние годы наряду с ртутными лампами ВД начинают применять излучатели с так называемым тихим разрядом, используя в качестве рабочего газа ксенон или смесь криптона и хлора, подвергаемые воздействию электрического поля. В первом случае генерируется излучение с максимумом на длине волны 172 нм, во втором — 222 нм (Oppenlander).

Эффективность ультрафиолетовой обработки возрастает при сочетании ее с другими методами, например кавитацией (процесс Cavox).

Кавитация создается дросселированием в трубе потока сточных вод с давления 5 атм до 15 мм рт. ст. Образующиеся в потоке пузырьки газа разрушаются, обуславливая локальные температуры до 5000 К и давление до 1000 атм.

Ультрафиолетовое облучение с использованием ряда окислителей позволяет удалять из воды примеси до очень низких концентраций. Эти добавки (пероксид водорода, озон, хлор, некоторые металлы, например медь и серебро) оказывают синергическое действие на результаты обработки. Степень усиления (N_o/N) в ряде случаев достигает величины 10^3 и более — для микроорганизмов и 10^2 — для органических примесей. Так, введение добавок H_2O_2 обеспечивает обезвреживание и разложение 95-99,98% патогенных организмов, вирусов, грибков и некоторых органических примесей. В частности, содержание бензола снижается с 500 до 25 мг/л. При производительности установки 10 тыс. м³/сут стоимость обработки по сравнению с очисткой воды углем снижается в 5-6 раз (Cavitation...).

Первые установки УФ-очистки освоены в Германии и Франции еще в 1910 г., но интенсивное внедрение этих технологий начато в 80-е годы текущего столетия, прежде всего в Западной Европе и США. За последние 15-20 лет в них пущены около 150 станций ультрафиолетовой обработки воды с расходом до 10 тыс. м³/ч. Более 1500 муниципалитетов США используют эту технологию в городской системе очистки сточных вод. Крупнейшая в мире станция производительностью свыше 1 млн м³/сут расположена в Калгари (Канада). В некоторых случаях сточные воды канализационных очистных сооружений после обеззараживания ультрафиолетом сбрасывают в прибрежные воды при сохранении полного соответствия последних европейским стандартам для купания (Ultraviolet...). В последние 10 лет УФ-обработка СВ получает распространение и в нашей стране (Костюченко).

В целом полагают, что для обеззараживания воды более перспективны ртутные лампы НД, а для разрушения органических соединений сточных вод — ртутные лампы ВД или другие источники жесткого ультрафиолетового излучения.

УФ-облучение в ряде случаев оказывается альтернативой традиционным методам очистки сточных вод окислением (хлорированию и озонированию). Это обуславливается не только эффективностью очистки, но и конкурентоспособностью по другим показателям.

Можно выделить следующие основные преимущества УФ-технологии дезинфекции воды: 1) снижение в 3-4 раза энергозатрат, в 2 раза — капитальных вложений и в 5 раз — эксплуатационных затрат по отношению к совокупным энергозатратам озонаторных систем. В сравнении с хлорированием инвестиционные затраты составляют около 50%,

эксплуатационные затраты в среднем равны 0,0102 Евро/м³ (Grägel); 2) экспоненциальную зависимость степени дезинфекции от дозы излучения, в связи с чем небольшое (на единицы-десятки процентов) возрастание мощности ультрафиолетового потока в несколько раз увеличивает эффективность обезвреживания; 3) большую электробезопасность установок, работающих при напряжении 110-380 В против 8-30 кВ у озонаторов; 4) исключение возможности образования побочных загрязнителей — диоксинов при хлорировании или броматов при озонировании; 5) неизменные окислительные характеристики воды.

Вместе с тем УФ-технологии имеют некоторые принципиально слабые стороны. Так, для дезинфекции питьевых и обеззараживания очищенных сточных вод они эффективны лишь при содержании в них не более 30 мг/л взвешенных частиц и не более 2-3 мг/л железа, при цветности не выше 50-60°. Ультрафиолетовая обработка обладает слабо выраженным последствием, поэтому на крупных промышленных станциях, где она используется для дезинфекции, обычно применяют хлорирование или предусматривают его в резерве.

Помимо ультрафиолетового облучения, известны технологии радиационного, плазменного и ультразвукового энергетического воздействия на загрязнение водной среды.

Радиационное воздействие может быть реализовано в режиме обработки пучком ускоренных электронов (разд. 3.4.2.3) или ионизирующей радиации (разд. 6.2.2).

Как известно, при облучении *пучком ускоренных электронов* с распадом некоторых молекул воды образуются свободные радикалы и ионы, часть из которых обладает сильно окислительными, а другая часть — сильно восстановительными свойствами. Эти активные частицы взаимодействуют с токсичными примесями, превращая их в безвредные продукты. Метод является эффективным и универсальным при обезвреживании многих загрязняющих компонентов, поскольку излучение оказывает комплексное действие на обрабатываемую воду: разлагаются органические и неорганические соединения, ускоряются седиментация и коагуляция, устраняются цветность и запах, снижаются величины ХПК и БПК, происходит дезинфекция воды. Излучение оказывает и бактерицидное действие, предотвращающее биообращение в технологических системах, что особенно важно при создании замкнутых систем водопользования. Эффекты очистки (99% по органическим соединениям) достигаются без дополнительного введения в воду химических или бактериальных реагентов, которые сами по себе являются загрязнителями. Наличие нерастворимых примесей в пределах 8% не влияет на эффективность процесса.

Первые установки радиационно-химической очистки были внедрены на Воронежском заводе синтетического каучука для обезвреживания растворов бионеразлагаемых ПАВ и в США — на станции водоочистки. По последним данным, обработка сточных вод электронным пучком делает их по качеству соответствующими стандартам хозяйственно-питьевого водоснабжения. В настоящее время разработаны и находятся в эксплуатации промышленные установки производительностью 5000-10000 м³/сут при стоимости обработки 1 м³ вод (в режиме дезинфекции), равной 0,2-0,4 дол. США (Ванюшкин).

Ионизирующая радиация, по зарубежным данным, также используется для дезинфекции сточных вод. В качестве ее источника, как правило, применяют Со-60 с удельной активностью 25 Ки/г. Обработанная вода протекает через защищающий от радиоактивного излучения футляр, в котором заключен источник радиации.

По опубликованным данным, интенсивность радиации должна быть следующей: для дезинфекции 4,5·10³ Дж/кг при 10⁵ Ки/м³·ч; для полной стерилизации 45·10³ Дж/кг при 10⁶ Ки/м³·ч. Полагают, что эффективность этой установки в среднем составляет 70-90%.

Действенность радиационной очистки сточных вод может быть повышена различными приемами: введением в стоки окислителей (Н₂О₂, О₃ и др.), продуктов радиолиты и фотолиты воды и воздуха, переводом легколетучих соединений-загрязнителей в газовую фазу, комбинированным применением ионизирующего и ультрафиолетового излучения (фоторадиационное разложение) и т.д. (Подзорова).

Использование плазмы предполагается тогда, когда другие способы практически не применимы. Ее источник — электрическая дуга с температурой до 4000°С. Загрязненная жидкость впрыскивается в высокотемпературную область, при этом происходит деструкция практически всех поллютантов. Далее пары воды отводятся и конденсируются. При длине факела плазмы 10-50 см потребляемая электрическая мощность составляет 200-700 кВт (Procedé...).

Ультразвуковое излучение (УЗИ) используется для удаления из сточных вод растворенных и суспензированных частиц. Соответствующее устройство имеет вытянутый цилиндрический корпус, в котором коаксиально с зазором установлен другой цилиндр (1). Исходная СВ подается в нижнюю часть I и через боковой патрубков отводится из его верхней части. На дне I размещен дисковый источник УЗИ (частота 19,5-40 кГц, интенсивность 1,5-1,75 Вт/см²). При его работе в жидкости формируется звуковое поле такой формы, при которой твердая фаза СВ отжимается к стенке I. В последней выполнены перфорации, через которые она уходит и отводится по кольцевому зазору между емкостями (Scott).

4.3.5. Биохимические

4.3.5.1. Общие сведения

Рассмотренные выше физико-химические методы относятся к числу наиболее эффективных, однако зачастую имеют высокую стоимость и вносят вторичные загрязнения. В ряде случаев по этим показателям преимущественно обладают биохимические методы. Они отличаются более высокой степенью и селективностью очистки, самовозобновляемостью процесса, сравнительно несложным аппаратным оформлением, большей экологической безопасностью для теплокровных при сбросах в водоемы. Сущность этих методов дана в разд. 4.3.1.

Биохимические способы в настоящее время нашли широкое применение для очистки как хозяйственно-бытовых, так и промышленных сточных вод от многих растворенных органических и неорганических веществ (сероводорода, сульфидов, аммиака, нитритов цветных металлов). Производственные сточные воды после биохимической очистки можно использовать для технического водоснабжения или сбросить в водоем при БПК_{полн} 15-20 мг/л и таком же количестве взвешенных веществ. На современных очистных сооружениях биохимической очистки эти показатели являются обычно предельно достижимыми.

Биохимическая очистка основана на способности микроорганизмов использовать для питания находящиеся в сточных водах вещества (кислоты, спирты, белки, углеводы и т.д.), являющиеся для них источником энергии. В процессе питания микроорганизмов происходит прирост их массы. В сообщество микроорганизмов (биоценоз) входит множество различных бактерий, простейших и ряд более высокоорганизованных микроорганизмов (микроводорослей, грибов, дрожжей и др.). Основная роль в сообществе принадлежит бактериям, число которых составляет 10^6 - 10^{14} клеток на 1 г сухой биологической массы. Число родов бактерий может достигать 5-10, а видов — несколько десятков и даже сотен. Масса микроорганизмов создает так называемый активный ил с концентрацией до 2-5 г/л сточных вод (в искусственных сооружениях типа аэротенков).

Активный ил представляет собой амфотерную коллоидную систему с рН 4-9 и отрицательным зарядом. Сухое вещество активного ила состоит из органических (70-90%) и неорганических (10-30%) веществ. Кроме микроорганизмов, в состав активного ила входит субстрат — твердая отмершая часть водорослей и различные твердые остатки. Его содержание в иле достигает 40%. К нему прикрепляются

микроорганизмы различных групп. По внешнему виду активный ил представляет собой буровато-желтые комочки и хлопья размером 3-150 мкм, с поверхностью около 1200 м^2 на 1 м^3 ила.

Захват примесей микроорганизмами осуществляется различными метаболическими путями. Основные из них — связывание примесей поверхностью клеток (адсорбция, в данном случае биосорбция), внутриклеточное накопление, внеклеточное осаждение (биокоагуляция) и комплексообразование.

Для увеличения емкости биосорбентов на них воздействуют щелочными или органическими растворами, ультразвуком и т.п., причем сорбционная активность мертвых клеток микроорганизмов, как правило, выше, чем живых.

Известны два вида процессов с участием микроорганизмов: окислительные (аэробные) в присутствии кислорода, наиболее распространенные в очистке сточных вод; восстановительные (анаэробные) в отсутствие кислорода.

Оптимальными для процессов являются: температура $20-30^\circ\text{C}$, рН среды 5-9 (предпочтительнее 6,5-7,5); наличие, кроме основных (углерода, азота, кислорода, водорода), других биогенных элементов клетки (марганца, меди, цинка, железа, кальция, натрия, калия и пр.); питание на уровне $300 \text{ мг БПК}_{\text{полн}}$ на 1 г беззольного вещества микроорганизмов в сутки; концентрация растворенного кислорода не ниже 2 мг/л ; концентрация веществ ниже ПДК_{б.о.с} (биохимических очистных сооружений). При превышении последних отмечается заметное отрицательное действие субстанций на работу биохимических очистных сооружений.

Биохимическая очистка сточных вод осуществляется в естественных и искусственных условиях. В первом случае используют почвы, проточные и замкнутые водоемы (реки, озера, лагуны, пруды), во втором — специально построенные очистные сооружения (биофильтры, аэротенки, метатенки, биосорберы, биоконтактторы).

4.3.5.2. Природные условия

Очистку сточных вод в природных условиях обычно ведут на полях фильтрации или орошения и в биологических прудах. Первых два метода до недавнего времени применяли для очистки бытовых стоков, и лишь в последнее время появились разработки по их приложению к производственным водам.

Суть очистки на полях *фильтрации* состоит в том, что при просачивании жидкостей через почву специально выделенных участков в ней адсорбируются взвешенные и коллоидные вещества, способствующие

щие развитию в почвенных порах микробиологической пленки. Последняя окисляет задержанные органические соединения, превращая их в минеральные композиции.

Поля фильтрации предпочтительнее располагать на земельных участках со слабовыраженным рельефом, имеющих уклон около 0,01 при суглинистых грунтах и до 0,05 — на песчаных. Для улучшения условий эксплуатации и увеличения допустимой нагрузки на них рекомендуется кратковременное (0,25-0,30 ч) отстаивание сточной жидкости. Допустимая нагрузка по объему стоков на поля фильтрации зависит от многих факторов (климатических условий района, структуры и состава почв, уровня грунтовых вод, характера загрязнения сточных вод и т.п.), поэтому она колеблется в весьма широких пределах (50-200 м³/га·сут). Мощность полей фильтрации достигает 280 тыс. м³/сут. Нагрузка по количеству загрязняющих веществ, оцениваемая по БПК_{полн}, принимается равной 20-80 кг/га. Сбор и отвод профильтрованных сточных вод производят с помощью открытых (канавы) и закрытых (трубы) дренажных устройств.

При оптимальных температуре, рН, водопроницаемости почв и других факторах эффективность очистки может составить более 80% по минерализации органических веществ, свыше 90% по взвешенным соединениям, более 40% по азотным при недостаточной дефосфотации и средней степени обеззараживания.

Использование сточных вод для целей орошения известно с древних времен. Особенно широкое применение оно получило с середины 19 в. В России первые поля орошения были устроены в конце 19 в. (Одесса, Киев, Москва).

Поля орошения отличаются от полей фильтрации тем, что они являются сельскохозяйственными угодьями. В этом случае, помимо очистки стоков, преследуется цель утилизации в интересах сельского хозяйства веществ (органики и микроэлементов), в них содержащихся. Пропускная способность полей орошения обычно составляет 15-25 м³/га·сут. Наряду с очисткой сточных вод орошение ими зачастую обеспечивает повышение урожая зеленой массы, например на пастбищах и в овощеводстве.

Серьезной проблемой использования полей орошения может явиться загрязнение почвы и заражение растений патогенными бактериями и яйцами гельминтов, что требует поиска и разработки новых очистных систем, безопасных в санитарном отношении. Однако в европейских странах на сельскохозяйственные поля в качестве удобрений направляют в среднем до 33% осадков городских сточных вод (в Израиле — 66%), и этот путь при соответствующем уровне культуры производст-

ва считается наиболее перспективным. В России это направление в общем не развивается.

Поля орошения и фильтрации следует размещать от водозаборных сооружений вниз по течению грунтовых безнапорных вод на расстоянии 200-500 м, в зависимости от типа грунтов. По отношению к населенным пунктам их рекомендуется располагать с подветренной стороны с защитной зоной не менее 200-300 м. Ширину полосы насаждений, в зависимости от удаленности полей от населенных пунктов, принимают равной 10-20 м.

Биологические пруды — искусственные водоемы в естественных или искусственных углублениях, в которых для очистки стоков используют естественные процессы. Пруды могут применяться как для очистки, так и для доочистки вод, прошедших биохимическую обработку. Второй вариант имеет преимущественное распространение. Если требуется еще более глубокая очистка, то стоки после прудов дополнительно пропускают через песчаные фильтры. По технико-экономическим соображениям пруды целесообразно применять для относительно небольших объемов жидкостей (до 5-6 тыс. м³/сут).

Качество очистки вод в биопрудах, в соответствии с нормами Европейского союза, должно составлять по БПК₅ 25 мг/л, по ХПК 125 мг/л (другие параметры не нормируются). Главное достоинство данных систем — малолюдность технологии, осадок можно удалять 1 раз в год или реже.

К недостаткам этих сооружений следует отнести низкую окислительную способность, сезонность работы, потребность в больших территориях, неуправляемость и затрудненность очистки.

Различают пруды с естественной и искусственной аэрацией, одной и многоступенчатой. Наиболее эффективны 3-4-ступенчатые пруды, в которых первая ступень составляет отстойную часть, рассчитанную на 6-24 ч пребывания воды.

Глубина последней в активной части очистного пруда не должна быть более 1 м, чтобы не создавать ее обескислороживания в придонных слоях. Однако для доочистных прудов при БПК поступающей воды до 20 мг/л глубину пруда можно довести до 3 м.

Среди прудов выделяют относительно мелкие (стабилизационные), в которых наряду с естественной аэрацией (окислением) существенную роль в очистке загрязненных вод играет фотосинтез водорослей.

Значительное сокращение площади биологического пруда достигается искусственной аэрацией (поверхностные механические или пневматические аэраторы). В частности, для примесей спиртов, фенолов, альдегидов, жирных кислот продолжительность полного окисления сокращается с 40-60 до 12 сут. Глубину прудов с механической аэраци-

ей следует принимать не менее 3-4 м, чтобы избежать размывания дна мощными циркуляционными потоками.

В странах с относительно мягким климатом биологические пруды получили значительное распространение. Так, в США их насчитывается 5000, Франции — 2500, Германии — 1000. В Европе их применяют свыше 100 лет.

Биологические пруды требуют СЗЗ (200 м).

При наличии местных условий для интенсификации процессов жизнедеятельности микроорганизмов воду, выходящую из биопрудов, следует пропускать через заросли прибрежно-водной высшей растительности (камыш, тростник, ряска и т.д.). Грунтом на участках в этом случае служат чернозем, глина, гравий, солома, их комбинации и т.п. Общая глубина слоя достигает 0,6-0,7 м, причем нижняя его часть обычно представлена гравием диаметром 3-10 мм на высоту 0,5 м, а верхняя — глиной или растительным грунтом толщиной 100-150 мм. Участки имеют уклон $\sim 1^\circ$ при скорости потока 0,3-0,5 м/с.

Растительность в вегетационный период практически полностью извлекает из воды соединения азота, чем защищает ее от эвтрофикации. Нагрузка по воде в этом случае может составлять 20 тыс. $\text{м}^3/\text{сут.}$ на 1 га при размещении 100-200 стеблей на 1 м^2 .

Численность водной растительности регулируется растительоядными рыбами (белый и местный амур, толстолобик и др.) в количестве пяти экземпляров взрослых особей на 1 га зарослей растительности. Если условий для разведения рыб нет, необходимо периодически выкашивать излишнюю растительность.

Очистка сточных вод на растительных участках от органических соединений (хлорбензол, хлорфенол, бензол, этилбензол и пр.) достигает 94-100%, БПК — 85-95%, взвешенных веществ — 97,0-98,5%.

В мире в настоящее время функционирует более 1000 таких природных и построенных человеком участков, в том числе 600 в США, 250 в Европе и 30 в СНГ.

4.3.5.3. Искусственные условия

Сооружения биохимической очистки по признаку закрепления в них активной биомассы можно разделить на три группы: 1) биомасса фиксируется на неподвижном материале; 2) активная биомасса находится в воде в свободном (взвешенном) состоянии; 3) сочетаются оба варианта.

Удержание (иммобилизация) микробной массы в потоке и ее концентрирование обеспечивают высокие скорости процесса. Для получения стандартных одинаковых размеров частиц биосорбентов иммобилизацию биоматериала проводят на различных носителях. В их качестве

используют полимерные вещества (полиэтилен, полипропилен), частицы угля, магнитные и ферромагнитные частицы, другие материалы. Инертные носители быстро обрастают микрофлорой с образованием прикрепленной биопленки. Иммобилизация уменьшает вымывание культур микроорганизмов из реакционной зоны, облегчает отделение биомассы из растворов, увеличивает срок службы биосорбентов.

К устройствам с иммобилизированной загрузкой относятся биофильтры. Как и в физических способах, фильтрование в данном случае реализуют либо в глубине фильтрующего материала, либо на его поверхности. Впервые оно было применено в конце 19 в.

Биофильтры по способу поступления воздуха в глубину загрузки делят на сооружения с *естественной* и *принудительной подачей воздуха*.

Естественную подачу применяют для очистки небольших количеств сточных вод (до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$).

В биофильтрах с принудительной подачей воздуха (рис. 4.20) сточная вода по трубопроводу 3 поступает в фильтр 2, через водораспределительное устройство 4 равномерно разбрызгивается по площади фильтра, а далее проходит через загрузку 5. Для интенсификации окисления органических примесей через трубопровод 1 и опорную решетку 6 подается сжатый воздух в противоток с направлением фильтрования. Очищенная вода выводится из фильтра через трубопровод 7. Производительность таких биофильтров достигает $50 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$.

Высота слоя загрузки биофильтра с естественной подачей воздуха обычно не превышает 2 м, при принудительной подаче она достигает 4 м. Фильтрующим материалом служат шлак, щебень, керамзит, гравий, пластмасса (в виде колец Рашига, пластин, решеток и т.п.). Период адаптации микроорганизмов биофильтра к различным видам органических загрязнений сточных вод составляет 2-4 недели, для некоторых производственных сбросов он длится несколько месяцев.

В нормально работающем биофильтре общая толщина слоя биопленки изменяется от микрон в верхних его слоях до 3-6 мм в нижних. Отработавшая и омертвевшая пленка смывается и выносится из биофильтра очищаемыми стоками.

При повышенных требованиях к качеству очищенных стоков применяют двухступенчатую схему работы биофильтра, причем первая ступень рассчитывается на неполную очистку (до БПК порядка 50 мг/л). Примером такого рода служит *затопленный* цилиндрический вертикальный биофильтр, в корпусе которого с разрывом расположены 2 слоя загрузки с высотой каждого из них до 1,5 м. Верхний слой представлен рифлеными пластинами ПВХ. Нижний слой, в ко-

тором проводится доочистка, заполнен гранулятом из вспененных полимеров с крупностью частиц 3-6 мм (Williams T.).

Вода, поступающая на биофильтры, не должна содержать плавающих масел, жира, кислот, щелочей, смол и других примесей, мешающих биохимической очистке. При превышении их нормы сточные жидкости необходимо предварительно обрабатывать.

Глубинные биофильтры изготовляют обычно круглыми, диаметром 6-30 м и более. Работают они, как правило, в восходящем потоке при его скорости до 6 м/ч. Однако известны биофильтры прямоугольного сечения. В ряде случаев используется плавающая фильтрующая загрузка в виде шариков полистирола диаметром 3-4 мм или полиэтиленовых лент (ширина 3 см, длина 6 м).

В ряде стран (США, Великобритания, Япония, Франция) созданы затопленные биофильтры, в которых в качестве загрузки и носителя биопленки используется песок. Они обеспечивают очистку городских СВ по БПК₅ на 85-95%, взвешенным веществам на 95-96% при нагрузке по БПК₅ 5-6 кг/м³·сут, гидравлической — 72-96 м³/м²·сут. Последние превышают показатели высоконагружаемых биофильтров соответственно в 3,0-3,5 и 6-7 раз (Танатарова).

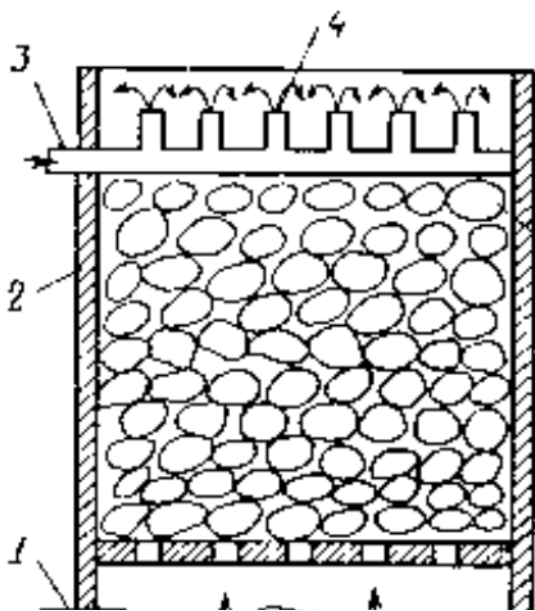


Рис. 4.20. Схема биологического фильтра

Высоконагружаемые биофильтры аналогичны представленному на рис. 4.20. Их конструктивным отличием являются большая высота слоя загрузки и крупность ее фракций, особая конструкция дна и дренажа. Она обеспечивает возможность искусственной продувки материала загрузки воздухом.

Для поверхностной биофильтрации начинают использовать керамические мембранные

микрофильтры с порами диаметром 0,2 мкм. Они особенно эффективны при удалении фекальных бактерий, степень очистки от которых достигает 99,9% (Boucard). Это объясняется тем, что размер отдельных частиц активного ила, представленного бактериями, составляет 2,5-13 мкм, а его хлопьев, полученных при использовании полимерных добавок, — 125 мкм (Characterisation...).

Сточные воды, прошедшие через биофильтры, могут доочищаться на участках с высшей водной растительностью (*Select. proc...*).

Биофильтры успешно применяют для очистки сточных вод различных производств. Например, для нефтеперерабатывающих предприятий степень загрязнения стоков за 8-12 ч при производительности фильтра по БПК_{полн} 300 г/м³·сут снижается с 400-600 до 20-25 мг/л. В период после 1980 г. интенсивность работы биофильтров удалось существенно повысить (до 3000-8000 г БПК/м³·сут) за счет использования загрузки с весьма развитой поверхностью (Hodkinson...). В некоторых случаях интенсивность деструкции трудноокисляемых органических веществ в биофильтрах даже выше, чем в аэротенках.

К устройствам с биомассой в свободном (взвешенном) состоянии относят *аэротенки* и *метатенки*.

Аэротенки, впервые построенные в начале 20 в., являются сооружениями, наиболее часто применяемыми для биохимической очистки значительных количеств сточных вод. Они дают возможность эффективно влиять на скорость и полноту протекающих в них биохимических процессов. Окислительная мощность аэротенка составляет 0,5-1,5 кг БПК_{полн} в сутки на 1 м³ полезного объема сооружения. Начальная концентрация органических загрязнителей в стоках, поступающих в аэротенки, не должна превышать 1000 мг/л, продолжительность их пребывания равна 4-8 ч.

Классификация аэротенков:

по гидродинамическому режиму работы — аэротенки идеального вытеснения (аэротенки-вытеснители), идеального (полного) смешения (аэротенки-смесители) и промежуточные;

по нагрузке на активный ил — высоконагруженные (более 300 мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества микроорганизмов в сутки), обычные (100-300 мг), низконагруженные (менее 100 мг);

по способу регенерации активного ила — аэротенки с отдельно стоящими регенераторами или совмещенные с регенераторами;

по числу ступеней очистки — одно-, двух- и многоступенчатые;

по конструкции — прямоугольные, круглые, комбинированные, противоточные, шахтные, фильтротенки, флототенки и другие, в целом аналогичные отстойникам;

по системе аэрации — пневматической, механической, комбинированной гидродинамической или пневмомеханической.

В аэротенке-вытеснителе сточные воды и ил впускают сосредоточенно в его торцовую часть, а прошедшую очистку воду и ил (иловая смесь) выпускают из другой торцовой части. Воздух подают, как правило, от компрессорной станции через воздухораспределительные устройства.

В начальной стадии процесса в аэротенке-вытеснителе наблюдается максимальное количество субстрата (загрязнителя) и дефицит кислорода, а в конечной стадии — избыток кислорода и минимальное количество субстрата. Таким образом, нагрузка на ил неравномерна по длине: вначале максимальна, а в конце минимальна. Эти сооружения используют, если БПК сточных вод не превышает 500 мг/л. Часто их применяют в многоступенчатых (ячеистых) конструкциях.

Аэротенки-смесители используют для очистки более концентрированных сбросов, особенно с резко колеблющимся составом. В этих сооружениях сточные воды и ил подводят и отводят равномерно вдоль длинной стороны сооружения (рис. 4.21). Нагрузка на ил, скорость изъятия загрязнений и потребления кислорода в данном случае постоянны по всей длине смесителя, что обеспечивает близкие к оптимальным условия существования микроорганизмов. Однако качество воды может оказаться несколько ниже, поскольку существует вероятность попадания части только что поступившего стока в отводную систему.

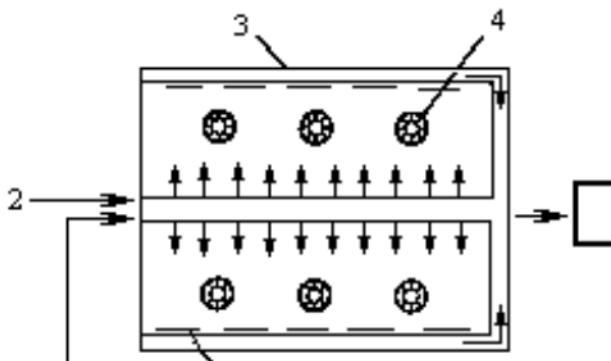


Рис. 4.21. Схема процесса активного ила с полным смешением:

- 1 — отходы ила; 2 — подача сточной воды; 3 — канал выхода чистой жидкости; 4 — механические аэраторы; 5 — выход воды; 6 — осадочная емкость; 7 — регулируемые барьеры; 8 — рециркуляция активного ила

В аэротенки промежуточного типа сосредоточенно подают либо воду (чаще всего), либо ил с отводом смеси сосредоточенно в конце сооружения. В варианте рассредоточенной подачи воды полная загрузка по загрязнению достигает максимума к концу сооружения, но степень очистки может быть очень высокой, так как по мере продвижения смеси по аэротенку ранее поданные загрязнения успевают перерабатываться, и к концу аэротенка уровень питания может соответствовать состоянию ила с высокой окислительной способностью. Однако аэротенки промежуточного типа имеют основной недостаток аэротенков-вытеснителей: отсутствие оптимальных условий по кислородному режиму в сооружении.

Интенсивность нагрузки по активному илу влияет на эффективность работы аэротенков. В частности, окислительная мощность *высоконагруженного аэротенка* выше, чем в обычных аэротенках, в 1,5-2 раза.

Ординарная концентрация ила в аэротенках составляет 2-3 г/л. При более высоких ее значениях возникают затруднения с разделением иловой смеси в обычных отстойниках. Вместо них приходится применять отстойники со взвешенным слоем, фильтры, центрифуги, флотацию и т.п.

Низконагруженные аэротенки применяют в основном для малых (до 1000 м³/сут) расходов сточных вод.

В аэротенках всех типов используют *аэрацию*: пневматическую, механическую, смешанную (комбинированную).

Пневматическая аэрация, в зависимости от крупности пузырьков, включает мелкопузырчатый (1-4 мм), среднепузырчатый (5-10) и крупнопузырчатый (более 10 мм) режимы ее реализации. К мелкопузырчатым относятся керамические, тканевые и пластиковые аэраторы фильтросного типа; к среднепузырчатым — перфорированные трубы, щелевые конструкции и др.; к крупнопузырчатым — открытые снизу вертикальные трубы, а также сопла.

В последнее время распространение получила *механическая аэрация*, особенно с 60-70 гг. 20 в. Несмотря на конструктивное разнообразие, принцип работы механических аэраторов одинаков: вовлечение воздуха вращающимися частями (ротором) и смешение его со всем содержанием аэротенка.

Классификация механических аэраторов:

по принципу действия — импеллерные (кавитационные) и поверхностные;

по плоскости расположения оси вращения ротора — горизонтальные и вертикальные.

Наибольшее распространение получили аэраторы поверхностного типа. Их особенность — незначительное погружение в сточную воду, непосредственная связь ротора с атмосферным воздухом.

Устройства механического типа имеют ряд преимуществ перед пневматическими аэраторами. Они обеспечивают в 2-3 раза большее насыщение сточных вод воздухом, надежны в эксплуатации и не требуют значительных затрат на обслуживание.

Аэраторы с горизонтальной осью вращения используются преимущественно в циркуляционных каналах, при этом они обеспечивают движение иловой смеси. Длина их горизонтальной оси 0,7-0,9 м. Впервые роторы такого типа применены в 1926 г.

Аэраторы с вертикальной осью вращения имеют диаметр рабочего колеса от 0,5 до 4,5 м. В зависимости от мощности привода, их производительность почти линейно возрастает, достигая 220 кг O_2 /ч при его энергопотреблении 80 кВт (Hunze).

В целом аэротенки представляют значительные по габаритам сооружения. Так, двух-, четырехкоридорные аэротенки-вытеснители имеют размеры $B \times H \times L = 4,4 \div 9 \times 3,2 \div 5 \times 36 \div 114$ м. Число конструкций аэротенков непрерывно возрастает.

Для отделения от очищенных сточных вод отмершей биопленки служат вторичные отстойники горизонтального, в частности радиального, и вертикального типов. Мощность последних ограничивают 20 тыс. m^3 /сут, при большей пропускной способности используют горизонтальные и радиальные отстойники.

Взвешенные вторичные вещества, поступающие в аэротенки, почти полностью расходуются на прирост массы активного ила. В аэротенках, работающих на неполную очистку, например в высоконагруженных, значительная часть загрязнений, захватываемых активным илом, не успевает окислиться. Поэтому активный ил из вторичных отстойников для восстановления его свойств направляют в регенераторы, в которых и происходит окончательное окисление органических веществ. Под регенераторы отводят до 50% объема аэротенков.

Нормальная работа биохимической очистки в значительной степени расстраивается при образовании пены. Проблема в последнее время обострилась одновременно с увеличением эффективности удаления биогенных элементов и снижением нагрузки на активный ил. Причины явления недостаточно ясны. Однако установлено, что росту пенообразования сопутствуют увеличение в активном иле количества нитчатых микроорганизмов и повышенное поступление в сточные воды ПАВ техногенного характера (Li...), наличие больших удельных объемов сооружений с анаэробными условиями (Schade...). Один из приемов борьбы со вспучиванием ила состоит в использовании аэротенков с на-

полнителями (инертными материалами). Это приводит к закреплению и развитию на поверхности микроорганизмов, в том числе нитчатых. Количество наполнителей не должно составлять более 30% общего объема аэрационной части (Яковлев...).

Известен также метод механического разрушения всплывшего ила. Его засасывают с поверхности отстойника притоленным погружным насосом, и ил в процессе перекачивания разрушается. Разделение образовавшейся смеси производят на барабанном фильтре (Gärtner).

В Земле Северный Рейн-Вестфалия с 2004 г. эксплуатируются крупнейшие очистные сооружения с разделением иловой смеси на мембранных фильтрах с проектной мощностью 45 тыс. м³/сут. Схема включает решетки, аэрируемые песколовки, жироловки, барабанные сепараторы с сетками 0,5 мм. Для защиты мембран от повреждений перед аэротенками устанавливаются специальные фильтры для удаления твердой фазы. Используются погружные мембранные модули полволоконного типа: размер пор 0,1 мкм, общая поверхность мембран 84,5 тыс. м². Объем аэротенков 9200 м³. Параметры процесса: предварительная денитрификация, ХПК исходных СВ более 800 мг/л, на выходе менее 25 мг/л (удаление 97%), пневмоаэротенки располагаются под мембранами, энергозатраты 0,4-0,8 кВт · ч/м³ (Vrepols).

Очистка СВ в аэротенках сопровождается выбросами загрязнителей атмосферы, мг/л: NO_x – 52-128; CO₂ – 0,28-1,66; CO – 0-45; SO₂ – 0-89 (Комплексная...).

Метатенки предназначаются для реализации анаэробных методов биохимической очистки (в отсутствие кислорода). Их применяют для удаления органических веществ из сильно концентрированных сточных вод или анаэробного сбраживания осадков.

В настоящее время насчитывается множество установок анаэробной очистки, прежде всего в агропромышленном и химическом комплексах, в муниципальном хозяйстве стран с тропическим (Индия, Бразилия, Колумбия) и субтропическим (Португалия и др.) климатом. Общее число систем анаэробной обработки только в Европе достигло 3500. На них ежегодно обрабатывается 1 млрд м³ стоков, обуславливающих образование до 60% шламов водоочистки.

Анаэробные технологии требуют более низких общих затрат, электроэнергии, ила, меньших площадей.

К их недостаткам относится медленный рост анаэробных, особенно метановых, бактерий. Для выхода на стабильный режим работы иногда требуется до нескольких месяцев, однако при использовании хорошей закваски срок можно сократить до нескольких дней. Бактерии довольно чувствительны к различным ингибиторам, например аммиаку, катионам металлов, цианидам, хлорсодержащим углеводородам, поэтому БПК

анаэробной очистки снижается только на 80-90%. В некоторых случаях, в частности при обработке отходов с высоким содержанием сульфатов, образуются продукты с неприятным запахом. Однако метановое сбраживание можно в нужный момент прекратить, передав обрабатываемый в метатенке материал в аэробный реактор. При воздействии кислорода на метабенные микроорганизмы их активность прекращается.

Для анаэробной очистки наиболее оптимальны температура 20-40°C и сточные воды следующего состава, мг/л: ХПК — 1000-10000; БПК — 50-5000; взвешенные вещества — до 5000; $(\text{NH}_4^+ - \text{N}) < 1700$; $\text{SO}_4^{2-} < 200$; $\text{Ca}^{2+} < 2000$; катионов < 4000 (Ван Старкенбург). Другие параметры анаэробных биохимических реакторов (Катраева): скорость восходящего потока жидкости 2-31 м/ч (обычно 10-25); продолжительность пребывания СВ 1-14 ч (2-8).

Конструктивно метатенк представляет собой цилиндрический (диаметром до 20 м и более) или прямоугольный железобетонный резервуар с коническим днищем и герметичным перекрытием (рис. 4.22). Впуск свежего осадка производят по трубе. Выделяющийся из метатенка газ содержит, об. %: CH_4 — 60-65; CO_2 — 16-34; N_2 и H_2 — по 0-3. Его теплотворная способность составляет обычно около 20 тыс. кДж/м³.

При необходимости ил в метатенке подогревают непосредственно впуском в иловую камеру горячей воды или змеевиком с циркулирующей горячей водой, либо острым паром.

К числу устройств с комбинацией иммобилизованных и свободных микроорганизмов относятся биосорберы и биоконтакторы.

Биосорберы представляют собой реактор, сочетающий псевдооживленный и фильтрующий слои. Окисление основной массы растворенных органических загрязнений осуществляется в аэробных условиях псевдооживленного слоя активированного угля микроорганизмами, иммобилизованными на его поверхности. Удаление взвешенных и окончательное окисление органических веществ происходят при фильтрации жидкости в восходящих потоках через плотный слой угля. Биосорберы обеспечивают удаление примесей на 80-100%, снижение цветности на 75-100% и содержания аммонийного

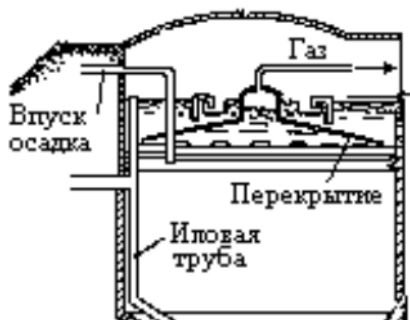


Рис. 4.22. Метатенк

азота на 82-96%. Регенерирование активированного угля необязательно, он может быть использован в качестве топлива.

Биоконтактор — это вращающийся сетчатый барабан, заполненный насыпной загрузкой из пластмассовых элементов различной конфигурации и размещенный в аэротенках в полупогруженном состоянии.

Опытно-промышленный образец биоконтактора использован, в частности, для очистки сточных вод сахарного завода в России. Биоконтактор диаметром D 1,5 м, длиной 2 м и с частотой вращения 2 мин^{-1} был погружен в аэротенк на $0,4 D$. Окислительная мощность установки за 12-часовой период оказалась почти в два раза большей, чем в двухступенчатом аэротенке. Степень очистки по БПК_{полн} при его исходной концентрации 300-2625 мг/л составила 90-95% (Демидов...).

Контактор несколько иной конструкции в сочетании с аэротенком и вторичным отстойником используют в г. Сита (Италия). В нем на общем валу с частотой вращения 2 мин^{-1} размещено 108 полиэтиленовых дисков диаметром 2,3 м и общей площадью 1150 м². При 40%-й площади погружения дисков в сточные воды и расходе последних 0,1-3,2 л/с степень удаления ХПК составляет 80-90%.

4.3.5.4. Направления интенсификации и стоимость биохимической очистки

В последнее время разрабатывается ряд направлений интенсификации биохимической очистки сточных вод и улучшения ее технико-экономических показателей.

К факторам интенсификации для аэротенков относятся использование окситенков, применение ультразвука, двухстадийная технология анаэробного сбраживания, сочетание анаэробно-аэробных методов и некоторые другие.

Окситенки — модификация аэротенков, в которые вместо сжатого воздуха подают кислород при повышенной концентрации активного ила, что позволяет существенно интенсифицировать процесс очистки. Дозу активного ила в окситенке можно повышать до 15 г/л, концентрацию растворенного кислорода — до 10 мг/л, скорость биохимического окисления увеличивается в 5-10 раз, степень использования кислорода достигает 95%.

Применение окситенков наиболее перспективно на предприятиях с собственным источником технического кислорода (металлургия, химия, коксохимия, нефтехимия и др.) или имеющих возможность получить его от соседних предприятий.

Использование гидродинамических излучателей ультразвука снижает ХПК по сравнению с традиционной очисткой на 25-30%, иловой

индекс — в 1,3-1,5 раза. Скорость потребления кислорода увеличивается на 25-30%, биологическое окисление субстрата — на 50-80%. При одинаковой степени очистки окислительная мощность традиционных аэротенков с ультразвуковой обработкой активного ила, по данным фирмы «Бионик», в 1,5-2,5 раза превышает окислительную мощность традиционных аэротенков при одновременном снижении энергозатрат на аэрацию иловой смеси (Применение ультразвука...).

Двухстадийная технология анаэробного сбраживания представляет собой комбинацию термофильного и мезофильного режимов.

Как известно, за рубежом распространено *мезофильное* (при 33-37°C) сбраживание осадков городских сточных вод в метатенке в течение 20-25 сут. Оно характеризуется высокими степенями распада беззольного вещества осадка, его водоотдающих свойств и выхода биогаза, минимальным расходом тепла на поддержание требуемой температуры и, в связи с длительными сроками обработки, значительными капитальными затратами. В отечественной практике наиболее распространено *термофильное* (при 50-55°C) сбраживание в течение 5-7 сут. Получаемые при этом степень распада и водоотдающие свойства осадка недостаточны.

Испытания термофильно-мезофильного сбраживания проведены на московских станциях аэрации в 1995-1997 гг. Они предусматривали проведение ключевой стадии сбраживания осадков сточных вод (гидролиз твердого вещества) в термофильном режиме, а дальнейший процесс, с целью повышения водоотдающих свойств осадков, осуществлялся в мезофильных условиях. Оптимальный режим: проведение первой стадии при 65°C в течение 0,6-1,0 сут, второй — не менее 10 сут при 30°C. В этом случае в сравнении с мезофильным режимом количество беззольного вещества увеличивалось в 1,2-1,6 раза, расход флокулянта на обезвоживание снижался на 40-50% (Савельева...).

Сочетание анаэробно-аэробных методов включает анаэробную обработку локальных стоков или общего потока сточных вод на первой ступени, анаэробно-аэробную очистку — на второй, глубокую аэробную очистку — на третьей. Эта схема может обеспечить любую степень очистки вплоть до достижения ПДК (кроме фосфора).

Важным фактором интенсификации биохимических процессов служит использование в различных типах реакторов гранулированной биомассы (без наличия носителя). Сорбционная емкость такой биомассы увеличивается в 3-4 раза, сохраняется ее высокая активность даже при длительном хранении.

Для производств с объемом сточных вод 4500-36000 л/сут применяют колонны с реакторами КС, имеющие высоту 4,5-5,6 м и диаметр

более 0,45 м. В реакторе размещают 80-100 кг гранулированной биомассы слоем 1,8-2,1 м, очищаемый раствор подают снизу (Сидельникова).

Другим направлением совершенствования реакторов является сочетание аэротенка и модуля с фильтровальной мембраной из органических полимерных материалов, позволяющих разделять иловую смесь на твердую и жидкую фазы (Технология...).

Проявляется тенденция использования смешанных культур микроорганизмов, которая характеризуется более высокой степенью селективности очистки, например от цветных металлов.

При очистке сточных вод от цветных металлов для регенерирования биомассы металлы из нее элюируют соответственно кислыми или щелочными растворами, содержащими комплексообразующие добавки.

В ряде случаев биосорбенты сжигают, не регенерируя.

Расширение внедрения биохимических методов сдерживается некоторыми особенностями, вытекающими из сущности процесса. К ним относятся снижение активности биомассы при нестабильном составе стоков, необходимость обеспечения непрерывной подпитки их биогенными элементами и разбавления высококонцентрированных систем.

Стоимостные показатели некоторых методов биохимической очистки, представленные в табл. 4.2, достаточно близки, за исключением более дешевых стабилизационных прудов. Однако область применения последних ограничивается территориями с жарким климатом.

Таблица 4.2

Капитальные и эксплуатационные затраты
биохимических методов очистки (Performance...)

Метод	Расходы	
	капитальные	эксплуатационные
Аэротенки	660	0,7
Биофильтры	500	0,6
Гидропоника и участки с тростником	400-50	0,4-0,5
Аэрируемые пруды	400	0,6
Стабилизационные пруды	230	0,4

Примечание. Капитальные расходы — ф. ст./чел., эксплуатационные — ф. ст./(m^3 /год).

Обоснованный выбор того или иного метода биохимической очистки может быть выполнен лишь на основании детальных технико-экономических расчетов применительно к особенностям конкретного региона.

4.4. Современные технологические схемы очистки воды

4.4.1. Сточные коммунальные

Дошедшие до нас памятники далекого прошлого и имеющиеся записи свидетельствуют, что еще в глубокой древности люди умели организованно отводить атмосферные и загрязненные воды. Так, при раскопках в Египте обнаружены каналы для сточных вод, построенные за 2500 лет до н.э. Такие же сооружения существовали еще раньше в Индии, более совершенные — в городах древних Греции и Рима.

Политическому и экономическому упадку культуры Древнего мира соответствовал упадок строительства вообще и канализационных сооружений в частности. Такое же положение наблюдалось в Западной Европе в эпоху Средневековья. В этот период даже наиболее крупные города буквально утопали в нечистотах. Широко распространившиеся инфекционные заболевания и участвовавшие эпидемии опустошали Европу. Это обстоятельство и совершенно нетерпимые санитарные условия заставили власти уделять большее внимание вопросам благоустройства. Однако только в 19 в. в некоторых городах Западной Европы была построена канализация. И если в конце 17 в. в городах Германии нечистоты зачастую сливались непосредственно на пригородные луга, то в середине 19 в. их отводили на поля фильтрации. Уже более 100 лет используют орошаемые биофильтры.

В настоящее время системы очистки сточных вод являются одними из наиболее сложных в народном хозяйстве различных стран. Так, в весьма канализованной Германии для сбора и отведения сточных вод имеется ~400 тыс. км уличных сетей и каналов. Из них бетонные трубы составляют 45%, столько же — железобетонные и керамические, около 4% занимает кирпичная кладка и менее 2% — трубы из полимерных материалов. Наиболее перспективные трубы (из керамики) долговечны, разнообразны по размерам (диаметр 100-800 мм, длина до 2,5 м), выдерживают давление до 2,4 атм, удовлетворяют самым высоким европейским стандартам. Возраст труб: до 25 лет — 36%, 26-50 лет — 36, 51-75 лет — 10, 76-100 лет 14, свыше 100 лет — 4% (Bergez...).

Система канализации Германии, по различным данным, в 1995 г. охватывала 89-95% населения страны, в том числе 85% ее составляла биохимическая очистка. Общее число очистных сооружений превышало 10 тыс., в том числе с производительностью более 100 тыс. экв. жи-

телей — 280, от 20 до 100 тыс. — 1084 и до 1 тыс. — 4343. Суммарный ежегодный объем очищаемых стоков достигал почти 10 млрд м³, осадков сточных вод — 23 млн м³, или 2,5 млн т по сухому веществу.

Наиболее полные из известных автору сведения о затратах на переработку сточных вод приводят Г.Доусон и Б.Мерсер (табл. 4.3). Условия реализации некоторых способов изложены ниже.

Предполагается, что при разделении твердых и жидких фаз (физические методы очистки) затраты на вакуумную фильтрацию и центрифугирование прямо не связаны с объемом стоков, но зависят от количества осадка, известкового по составу, выход которого равен 2045 кг по сухому веществу в сутки. Осадок после первичного (гравитационного) осаждения подается на вакуум-фильтр или центрифугу в виде 10%-й пульпы. Первичное осаждение ведется с нагрузкой 2400-4900 л/(сут·м²). Объем фильтрации через гранулированную насадку составляет 63 л/(мин·м²) при 12-часовом рабочем дне. Затраты на обработку паром оценены применительно к сточным водам нефтепереработки.

В химических методах очистки известью нейтрализуют раствор с 1%-й концентрацией серной кислоты.

В физико-химических методах стоимость ионообменной очистки рассчитана для стоков металлообработки, содержащих, мг/л: Zn²⁺ — 15; Cu²⁺ — 0,5; CN⁻ — 19 и Cr⁶⁺ — 22. Затраты на адсорбцию оценивались для ХПК стоков, равного 20-100 мг/л, при нагрузке 0,1-0,3 кг на 1 кг активированного угля. Обратный осмос приложили к промывочным водам никелирования с целью повторного использования никеля. Затраты на экстракцию определили применительно к переработке 1,5%-го раствора фенола с регенерацией растворителя (толуола) дистилляцией и паровой обработкой очищенной воды.

В биохимических процессах расчеты приведены для сточных вод с БПК 1300 мг/л при количестве подаваемого кислорода 0,25 кг на 1 кг взвешенного аэробного вещества и его концентрации 2000 мг/л. Аэрационные лагуны применены для переработки сточных вод с БПК 2100 мг/л при их выдержке 7 сут. На поля орошения сбрасывали отработанный ил в концентрации 0,11 кг/м³ при объеме стоков 3,8 тыс. м³. Нагрузка составляла 22 т/(га·год).

Данные Г.Доусона и Б.Мерсера можно дополнить более поздними сведениями по стоимости хлорирования, озонирования и ультрафиолетового облучения, составляющей для установки производительностью 4 тыс. м³/сут соответственно 8,2; 42,5 и 4,5 дол. (Скурлатов...).

Таблица 4.3

Затраты на переработку сточных вод различными методами
(Доусон...)

№ п/п	Метод	Затраты		
		капи- таль- ные	эксплуа- тацион- ные	на 1000 гал.
1	Фильтрация (стационарная)	67	27	0,07
2	Первичное осаждение	450	70	0,19
3	Воздушная флотация	2300	190	0,52
4	Фильтрация через гранулированную среду	1200	190	0,52
5	Вакуумная фильтрация	850	180	0,49
6	Центрифугирование	1000	150	0,41
7	Обработка паром	600	520	1,49
8	Нейтрализация	1500	1200	3,43
9	Химическое осаждение (коагуляция)	500	130	0,36
10	Ионообмен	3500	1000	2,86
11	Адсорбция активированным углем	1600	260	0,71
12	Испарение	1300	5342	8,99
13	Обратный осмос	950	370	1,01
14	Извлечение с помощью рас- творения (экстракция)	1300	770	2,33
15	Извлечение активным илом, включая вторичное осаждение (аэротенк)	1310	270	0,74
16	Аэрационные лагуны	380	57	0,16
17	Использование земли (поля орошения)	67	13	0,04

Примечание. Данные представлены для установок производительностью 3,8 тыс. м³/сут: капзатраты — в тыс. дол., эксплуатационные — тыс. дол./г., затраты — на 3,8 м³.

Представленные оценки являются ориентировочными, так как соотношение затрат на различные методы очистки зависит от многих факторов, прежде всего объема переработки сточных вод и их состава. В целом можно полагать, что относительно недорогими являются физические методы, с затратами на обработку 0,5 дол. и менее, за исключением значительно более дорогого по эксплуатационным и общим за-

тратам метода испарения. Примерно на одном уровне общих затрат находятся химические и физико-химические методы. Однако каждая из рассмотренных групп имеет свою наиболее эффективную область применения. Поэтому полноценная очистка стоков возможна только при комбинировании способов, относящихся к различным группам.

Самые мощные очистные сооружения в настоящее время используют для очистки коммунальных стоков. Современные технические решения станций аэрации крупных городских очистных сооружений, например Москвы, предусматривают: песколовки — вертикальные, горизонтальные, аэрируемые; первичные радиальные отстойники диаметром 33, 40, 54 м с удалением осадка плоскребами; аэротенки четырехкоридорные глубиной 5-6 и шириной коридоров 10-12 м с разнообразными технологиями полной биохимической очистки — от отдельной регенерации активного ила до рассредоточенной подачи сточных вод и секционирования коридоров поперечными воздушными завесами; вторичные радиальные отстойники диаметром 33, 40, 54 м с удалением активного ила илососами и плоскребами; метатенки — от монолитных объемом 5600 м³ с мезофильным режимом сбраживания до полносборных объемом 8200 м³ с термофильным режимом (Пупырев).

Крупнейшим в Европе предприятием по очистке сточных вод является Курьяновская станция аэрации (КСА), принимающая более половины их от образующихся в Москве. Ее нынешняя проектная производительность составляет 3,125 млн м³/сут, она занимает около 200 га при числе занятых 1735 человек. За пределами городской черты имеются также иловые площадки станции общей площадью 237 га. После очистки сточные воды в основном сбрасывают в р. Москва, причем их объем составляет примерно половину от дебита речной воды. Кроме того, около 100 тыс. м³ доочищенных стоков после их дезинфекции подается в городскую систему промышленного водоснабжения, которой пользуются такие крупные предприятия, как автомобильные заводы «ЗИЛ» и «Москвич».

На КСА используют традиционную технологическую схему, включающую сооружения механической, биохимической очистки и доочистки.

В состав цеха механической очистки входят механизированные решетки с прозором 4-6 мм, аэрируемые песколовки и 16 первичных радиальных отстойников диаметром 54 м при средней глубине 5 м.

Биохимическую очистку ведут по схеме аэрация — вторичные отстойники. Для аэрации применяют четырехкоридорные аэротенки-вытеснители с 50%-й отдельной регенерацией активного ила и подачей воздуха через керамические фильтросные пластины.

На сооружения доочистки сточные воды поступают после вторичных отстойников. Здесь они последовательно проходят две стадии об-

работки: процеживание через барабанные сетки с ломаной поверхностью и размерами ячейки 1 мм^2 , фильтрацию через слой высотой $1,5 \text{ м}$ щебеночной загрузки (фракция $2-5 \text{ мм}$). Доочистка обеспечивает удаление до 50% загрязнений по взвешенным веществам и до 30% органики по БПК₅.

При очистке сточных вод КСА ежедневно образуется $13-15 \text{ тыс. м}^3$ осадков, в том числе первичных отстойников и избыточного активного ила. Их обработка включает сбраживание в метатенках, последующее обезвоживание и депонирование.

В метатенках объемом $117,6 \text{ тыс. м}^3$ поддерживается термофильный режим сбраживания при $50-52^\circ\text{C}$. Подогрев осадка осуществляется подачей пара во внутренний объем сооружения. С целью рекуперации теплоты внедрен спиральный теплообменник с площадью поверхности 440 м^2 , рассчитанный на пропускание всего объема избыточного активного ила. Это дает экономии $2,5-3,0 \text{ Гкал/ч}$ тепловой энергии. Метатенки оборудованы пропеллерными мешалками (проектное решение) и, частично, более эффективной газолифтной системой перемешивания осадка, использующей энергию выделяющегося газа (около $9 \text{ тыс. м}^3/\text{сут.}$). Последний полностью утилизируется в котельной станции.

Обезвоживание осадков производят примерно в равных долях механическими средствами и на иловых площадках. Механическое обезвоживание предусматривает предварительную промывку осадка, его гравитационное уплотнение и реагентную обработку 10% -ми растворами хлорного железа и известкового молока при их расходе соответственно $4-6$ и $15-25\%$. Затем осадок обрабатывают на вакуум-фильтрах или фильтр-прессах (Храменков...). При обезвоживании осадка на иловых площадках оно может быть значительно ускорено при использовании флокулянтов (Ускоренное...).

Обезвоженный осадок станций аэрации в соответствии с московской «Концепцией развития сооружений обработки и утилизации осадка на период до 2010 г. » предусматривается направлять в экологически безопасные сооружения, создаваемые на территориях бывших иловых площадок с их последующей рекультивацией (Храменков, 1999).

Рассмотренная проектная схема КСА с рядом внедренных усовершенствований соответствует современным требованиям природоохраны (Иванин...).

Во многом повторяют схему КСА Юго-Западные очистные сооружения Санкт-Петербурга производительностью $330 \text{ тыс. м}^3 \text{ СВ}$ в сутки, сданные в эксплуатацию в 2005 г. Отличие состоит в использовании УФ-установки после вторичных радиальных отстойников.

Очищенные стоки содержат, мг/л: БПК₅ — 15, общие азот и фосфор — соответственно 10 и 15 (Кармазинов...).

Еще более совершенные схемы очистки коммунальных стоков используют за рубежом. В частности, на новых полностью закрытых очистных сооружениях одного из районов Франции сточные воды бытового сектора и агропищевой промышленности подвергают тонкослойному осветлению в отстойниках и обработке на погружных биофильтрах с загрузкой из вспученной глины. Осадки обезвоживают на центрифугах. Схема обеспечивает 80%-е извлечение азотных соединений и 92%-е — биоокисленных, удаляет 93% взвешенных коллоидных веществ. Конечное содержание общего азота не должно превышать 2 мг/л, фосфора — 1-2 мг/л, в зависимости от мощности сооружений. Последние оборудованы также эффективными системами шумоподавления и улавливания газов (La nouvelle...; Valloy).

Дальнейший прогресс в очистке СВ за рубежом предполагает использование фильтр-прессов для обезвоживания осадков в составе мобильных установок (Coluot) и использование для этой же цели солнечной энергии (Vux).

В последние годы значительное распространение получили различные методы обеззараживания сточных вод, особенно в США. В Европе они внедряются в основном при выпуске стоков у мест купания и при их повторном использовании. По данным обработки информации о 162 зарубежных станциях, на них применяются, %: хлорирование — 64 (в том числе без дехлорирования — 47); ультрафиолетовая обработка — 33; озонирование — 4; озонифлотация — 0,6. По станциям большой производительности (свыше 100 тыс. м³/сут.) распределение меняется, %: озонирование — 10; хлорирование — 40; ультрафиолетовое облучение — 50. Последний метод используется при производительности более 800 тыс. м³/сут. В целом развитые страны демонстрируют тенденцию к ликвидации систем хлорирования с заменой их ультрафиолетовой обработкой. В частности, на проектируемых станциях США хлорирование не предусматривается вовсе.

Повторное использование сточных вод является актуальной задачей, особенно в районах с засушливым климатом и острой нехваткой пресной воды. Так, в Израиле установлено несколько сотен бассейнов и резервуаров для сбора и повторного использования очищенных сточных вод, объем которых в 2000 г. должен был превысить 300 млн. м³/год. Резервуары имеют глубину 6-15 м и объем от 50 тыс. до 6 млн. м³ (Tech. rap...).

В рамках ограниченного объема данного курса нет возможности выделить и рассмотреть весьма разнообразные схемы очистки про-

мышленных и сельскохозяйственных стоков, определяемые в основном их пестрым составом и количеством отводимых вод.

В заключение отметим стоимость и финансирование удаления сточных вод (на примере Германии).

Результаты анкетного опроса 1025 коммун с системой централизованной канализации (число жителей 27,7 млн чел.) показали, что в частной собственности находится 43% коммунальных предприятий. Платежи (без учета долевого участия в строительстве) составили по Германии 207 марок за человека в год при среднем тарифе для клиентов 4,56 марки/м³ сбросов. Жилой сектор оплачивал 48% затрат, промышленные предприятия — 23, дорожные службы — 17%. Некоторые статьи расходов коммунального хозяйства, %: заработная плата — 16; водоотведение — 25; амортизационные отчисления — 28; налоги на сброс — 5 (Kosten...).

4.4.2. Питьевые

В наши дни состояние водоемов — источников водоснабжения населенных пунктов — претерпевает существенные изменения. При стабильном уровне естественных примесей в воде все чаще фиксируются токсиканты антропогенного характера: пестициды, полиароматические и полихлорированные органические соединения, пахучие вещества и т.п.

Несмотря на тенденцию ухудшения качества воды в источниках, требования к питьевой воде повышаются. Новые нормативы России (СанПиН 2.1.4.559-96) соответствуют рекомендациям ВОЗ и, в отличие от действовавших, включают показатели, определяющие степень паразитарности и вирусного загрязнения воды. Значительно расширен перечень контролируемых показателей и снижены ПДК для ряда токсических органических соединений.

До сих пор базовой схемой очистки для подавляющего большинства водопроводных станций является классическая двухступенчатая. Она предусматривает коагулирование примесей серноокислым алюминием с последующим их отстаиванием и фильтрованием, а также обеззараживание воды хлором на заключительной стадии ее обработки. Однако подобная технология, в силу загрязнения водоисточников некоторыми техногенными веществами и отдельными микробиологическими субстанциями, не гарантирует необходимой степени очистки воды. Кроме того, применение повышенных доз хлора и коагулянта приводит к образованию ряда новых, хлор- или металлоорганических, соединений, зачастую более токсичных, чем их предшественники.

Новейшая мировая практика водоподготовки показывает, что для крупных станций в наибольшей степени подходят технологии, основанные на сочетании традиционных методов обработки с озонированием или сорбцией на гранулированных активных углях (ГАУ). Новая технология позволяет реализовать полную дезодорацию воды и новые нормативные требования по содержанию в ней нефтепродуктов, фенолов, хлорфенолов, ПАУ, различных пестицидов и других токсических соединений. В частности, озонирование перед сорбцией на ГАУ обеспечивает: глубокую деструкцию трудноокисляемых органических соединений, в том числе высокотоксичных, с целью снижения грязевой нагрузки на сорбент; биохимическую очистку на сорбционных фильтрах, что увеличивает срок их службы не менее чем на 40-60%; снижение содержания токсичных хлорорганических соединений; высокую надежность уничтожения вирусных загрязнений; улучшение органолептических свойств воды.

В настоящее время по новой технологии запроектирована Юго-Западная водопроводная станция Москвы производительностью 500 тыс. м³/сут (рис. 4.23).

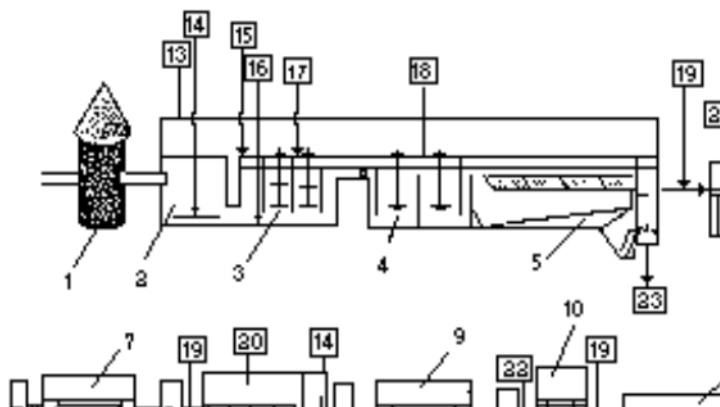


Рис. 4.23. Технологическая схема очистных сооружений Юго-Западной водопроводной станции Москвы:

- 1 — насосная станция первого подъема; 2 — контактный бассейн углевания; 3 — быстродействующий смеситель; 4 — флокулятор; 5 — тонкослойный отстойник; 6 — контактный резервуар первичного озонирования; 7 — песчаный фильтр; 8 — контактный резервуар вторичного озонирования; 9 — угольный фильтр; 10 — распределительная камера вторичного хлорирования; 11 — резервуар чистой воды; 12 — насосная станция второго подъема; 13 — перманганат калия; 14 — воздух; 15 — коагулянт; 16 — хлор; 17 — уголь ПАУ; 18 — флокулянт; 19 — известь; 20 — озон; 21 — промывная вода; 22 — аммиак, хлор; 23 — осадок на обезвоживание; 24 — в водосток; 25 — в город

Схема включает две ступени озонирования — перед скорыми и адсорбционными фильтрами. Взамен сульфата алюминия используется более эффективный коагулянт — оксихлорид алюминия (ОХА). Его применение приводит к существенному сокращению массы образующегося осадка, что позволяет увеличить продолжительность фильтрации в 1,5-2 раза. Традиционные горизонтальные отстойники заменены тонкослойными, что обеспечивает двукратное освобождение площадей.

При высокой степени очистки воды в естественных условиях может быть применена упрощенная схема. Так, технология водоочистной станции г. Осло (Норвегия), забирающей воду из оз. Маридаль, на берега которого нет свободного доступа, включает предварительное хлорирование, продувку воздухом, отстаивание с малыми дозами коагулянта (ОХА), фильтрование на барабанных микрофильтрах и дезинфекцию (рис. 4.24).

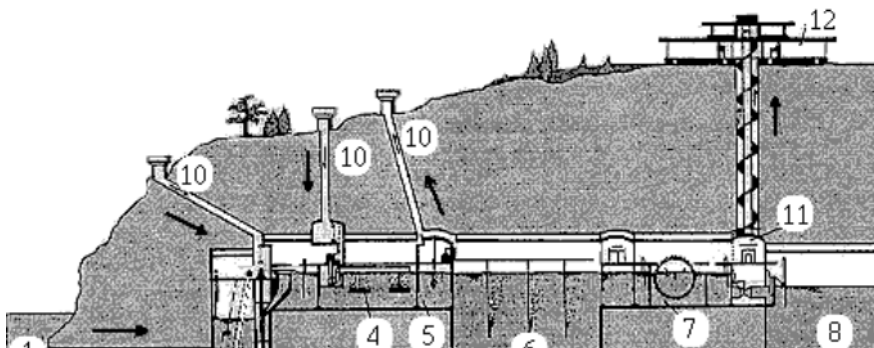


Рис. 4.24. Технологическая схема водоочистной станции:
 1 — забор воды из оз. Маридаль; 2 — первичная очистка на вращающихся сетках; 3 — насосная станция первого подъема; 4 — аэрирование воды; 5 — первичное хлорирование; 6 — отстаивание с реагентной обработкой; 7 — микрофильтрация; 8 — вторичное хлорирование; 9 — насосная станция второго подъема; 10 — вентиляция; 11 — контрольный пункт; 12 — наземное административное здание

Станция имеет две параллельные технологические линии производительностью 250 тыс. м³/сут каждая. Управление процессом полностью автоматизировано и компьютеризировано (эксплуатационный персонал станции — 5 чел.). Промывная вода с микрофильтров, шлам из отстойников и бытовые стоки подаются в городскую систему канализации (Порядин).

Процессы коррозии и эрозии

Термины «коррозия» и «эрозия» в своем изначальном значении «corrosio» и «erosio» совпадают: в переводе с латинского языка они означают «разъедание». Однако в современном языке эти понятия имеют различную смысловую окраску.

Термин «коррозия» в настоящее время характеризует процессы естественного разрушения под воздействием окружающей среды металлов, сплавов и неметаллических материалов, изделий из них, т.е. продукции антропогенного происхождения. Под эрозией подразумевают процессы разрушения под влиянием окружающей среды материальных объектов природного происхождения (горных пород и почв). Вместе с тем до сих пор понятие «коррозия» в некоторых случаях используют для обозначения геологических процессов разрушения, например растворения горных пород в результате воздействия воды с образованием карстовых (пустотных) форм рельефа. К процессу эрозии иногда относят постепенное разрушение поверхности материальных объектов, созданных человеком, например металлических изделий, в потоках газа или жидкости, под воздействием электрических разрядов и т.д. В данной работе оба понятия использованы в их основных значениях в современном русском языке.

5.1. Коррозия металлов и сплавов

5.1.1. Общие сведения

Коррозия металлов и сплавов выражается в их самопроизвольном необратимом разрушении под влиянием химического или электрохимического воздействия окружающей среды. Разрушение начинается всегда с поверхности материала, однако при значительном развитии может распространиться и в глубь его. Это происходит, например, при межкристаллитной коррозии, при которой в первую очередь разрушаются тонкие прослойки между кристаллами материала.

Коррозия металлов и сплавов (далее — металлов) наносит большой ущерб народному хозяйству, в частности при разрушении металлических конструкций в воздушной, водной среде и почве, корпусов судов и различных портовых сооружений, при ржавлении железнодорожных рельсов, разъедании химической аппаратуры, образовании окалины при

термической обработке и прокатке металла и т.д. Подсчитано, что $1/3$ всего металла выбывает из технического использования в результате коррозии. При этом примерно $2/3$ прокорродировавшего металла регенерируется при переплавке металлолома. Остальная часть переходит в пыль, степень переработки которой составляет $\sim 50\%$. В СССР при выплавке стали в 80-х годах 20 в. на уровне 150 млн т/год ежегодные потери металла от коррозии оценивались в 15 млн т (*Технология важнейших...*).

Большие убытки народному хозяйству наносят связанные с коррозией аварии и простои машин и сооружений, порча консервов продуктами коррозии.

Помимо прямых потерь, к убыткам от коррозии относятся расходы на борьбу с ней, например на замену обычных сталей легированными, нанесение защитных покрытий, смазок и ингибиторов. В целом убытки промышленно развитых стран от коррозии составляют 5-10% национального дохода.

Таким образом, защита от коррозии становится проблемой первостепенного народнохозяйственного значения.

5.1.2. Теоретические представления

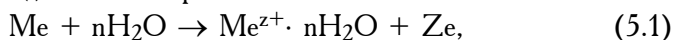
Все многообразие явлений коррозии, в зависимости от механизма их протекания, можно разделить на *электрохимические* и *химические*. Первый тип коррозии обычно возникает при контакте металлов с электролитом, второй — в газах и неэлектролитах, однако в реальных условиях оба процесса могут реализовываться одновременно.

Электрохимический механизм — наиболее распространенный вид коррозионного разрушения. Он обуславливается двумя причинами.

Коррозия возникает главным образом как результат работы многочисленных гальванических микроэлементов, появляющихся на поверхности металла при контакте его с электролитом. Причиной электрохимической гетерогенности поверхности, в результате которой возникают пространственно разделенные катодные и анодные участки коррозионных микроэлементов, является наличие в металле включений других, более электроположительных («благородных») металлов. Включения окружают чистый металл, образуя так называемые местные, или микрогальванические, электрохимические ячейки. Чистый металл в них служит анодом, а включения — катодами.

В согласии со схемой работы коррозионного элемента (рис. 5.1), электрохимическое растворение металла состоит из трех основных стадий (Левин):

1) анодного процесса — перехода ионов корродируемого металла в раствор с освобождением электронов:



где z — валентность металла;

2) омического процесса — перетекания свободных электронов по металлу от анодных участков к катодным и движения ионов в растворе;

3) катодного процесса — ассимиляции освободившихся электронов каким-либо деполяризатором, имеющимся в растворе.

В качестве деполяризатора могут выступать любые ионы и молекулы, находящиеся в растворе и способные восстанавливаться на катодных участках:

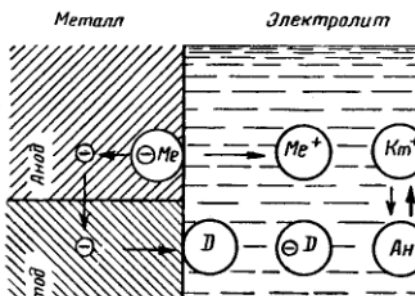


Рис. 5.1. Принципиальная схема работы коррозионного гальванического элемента

В общем случае деполяризаторы разделяют на две группы. В одну из них входят ионы водорода и металлов высшей валентности, например Fe^{3+} , а также некоторые анионы, способные отнимать у металла валентные электроны, но, как правило, не вступающие с ним в химические соединения. Основу второй группы составляют кислород и все соединения и ионы, способные его отщеплять, а также галогены.

Вещества первой группы могут быть только деполяризаторами. Вещества второй группы, кроме

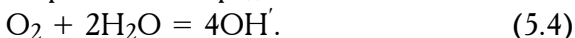
этого, при определенных условиях реагируют с металлами химически с образованием оксидных, галоидных и других пленок, тем самым существенно влияя на кинетику коррозионных процессов.

Наиболее распространенными являются два катодных процесса (Скорчелетти):

1) разряд водородных ионов по реакции:

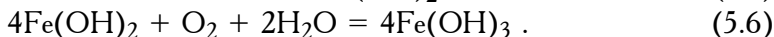
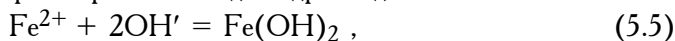


2) восстановление растворенного кислорода:



Эти процессы называют соответственно *водородной* и *кислородной* деполяризацией.

В железоуглеродистых сплавах (чугун, сталь) анодом служит феррит (твердый раствор сотых или тысячных долей процента углерода и других элементов в α -железе), а катодом — цементит (карбид железа) или неметаллические включения. Вторичными реакциями коррозии железа являются взаимодействие его катионов с ионами гидроксидов и образование малорастворимых в воде гидроксидов железа:



Со временем гидроксиды железа переходят в более устойчивые соединения типа $n\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, называемые *ржавчиной*.

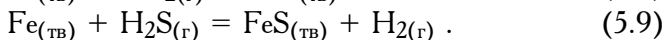
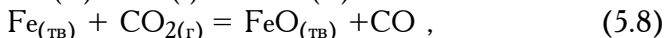
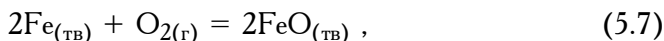
Таким образом, электрохимическая коррозия является самопроизвольным процессом, совмещающим в себе анодную реакцию растворения металла и катодную реакцию восстановления окислителя-деполяризатора, причем каждая из них возможна только при сочетании с другой.

Подобная форма коррозии происходит главным образом при возникновении и работе микрогальванических (местных) элементов, образующихся при соприкосновении металла с водой, водным раствором электролита, другой жидкой средой (*жидкостная коррозия*) или влажным воздухом (*атмосферная коррозия*), т.е. при появлении на поверхности металла хотя бы тонкой пленки влаги. В этом случае местные элементы начинают давать *паразитные гальванические токи*, приводящие к разрушению изделия.

Образование и работа коррозионного микроэлемента — наиболее выгодный, но не единственный механизм перехода металла из термодинамически неустойчивого в устойчивое состояние. Коррозия может протекать и при отсутствии микроэлементов, на совершенно гомогенной по химическому составу поверхности. Причиной электрохимической микрогетерогенности в этом случае является любая неоднородность деформаций и внутренних напряжений в металле, неоднородность внешней среды, различия в концентрации элемента и т.п.

Другой, химический, процесс коррозии, как уже отмечалось, протекает в средах, не проводящих электроток. Он часто возникает при действии на металл сухих газов.

Газовая коррозия обычно наблюдается в окислительной среде при высоких температурах как в металлической аппаратуре (нагревательные печи, двигатели внутреннего сгорания, газовые турбины, оборудование синтеза аммиака), так и на поверхности обрабатываемых металлов в различных технологических процессах (термообработка, прокатка,ковка, штамповка и т.д.). Например, стальные конструкции нагревательных печей окисляются и кислородом, и другими газами:



В большинстве случаев продукты окислительной коррозии образуются и остаются на металле в виде пленки, характер которой определяет ее защитные свойства.

Коррозионные процессы возможны и в восстановительной газовой среде, например растрескивание стали в аппаратах для крекинга нефти и нефтехимического синтеза. Это обусловливается обезуглероживанием металла под действием водорода при его высоком давлении:



Благодаря большой скорости диффузии водорода в железе при высоких температурах реакция (5.10) может развиваться не только на поверхности, но и в объеме металла. Образующийся метан имеет больший, чем у водорода, размер молекул (соответственно $4,3 \cdot 10^{-8}$ и $2,77 \cdot 10^{-8}$ см) и их меньшую среднюю скорость ($6,14 \cdot 10^4$ против $16,94 \cdot 10^4$ см/с). Это затрудняет диффузионное удаление метана из стали, и он накапливается в микропорах и микротрещинах металла. В результате в них развиваются большие давления газа (100-1000 атм.), что приводит к коррозионному растрескиванию материалов.

Химическая коррозия наблюдается и при действии на металл или его компоненты жидких неэлектролитов (нефть, бензин, расплавы и т.п.). Так, при циркулировании расплава натрия в качестве теплоносителя в промежуточном контуре трехконтурной схемы АЭС, изготовленном из нержавеющей стальных труб, их углерод растворяется в жидком металле. И хотя эта растворимость весьма мала, с течением времени концентрация углерода в поверхностном слое стали уменьшается столь сильно, что она теряет необходимые физико-механические свойства. Один из способов борьбы с таким типом разрушения заключается в легировании стали, что приводит к уменьшению термодинамической активности содержащегося в ней углерода и снижению его вымывания.

Скорость процессов коррозии любого типа в значительной степени зависит от наличия на поверхности металла оксидных или других пленок. Их подразделяют на три группы: тонкие (невидимые) толщиной от нескольких до 40 нм; средние (40-500 нм, дают цвета побежалости); толстые (видимые) слоем свыше 500 нм (к ним относится также термическая стальная окалина). Пленка может быть сплошной ($V_{\text{ок}}/V_{\text{Ме}} > 1$) и несплошной ($V_{\text{ок}}/V_{\text{Ме}} < 1$), где $V_{\text{ок}}$ и $V_{\text{Ме}}$ — соответственно объемы оксида и металла, пошедшего на его образование. В частности, для щелочных и щелочноземельных металлов (К, Na, Ca, Mg и др.) $V_{\text{ок}}/V_{\text{Ме}}$ равно 0,45-0,81; на них образуются рыхлые

пористые пленки. Для Cd, Al, Sn, Zn, Be, Cu, Fe и других металлов это соотношение составляет 1,21-2,14, что обуславливает образование на них сплошных или малопористых пленок. По мере их утолщения скорость коррозии металла замедляется.

Компактность пленок зачастую оказывает решающее влияние на развитие процессов коррозии. Например, алюминий окисляется легче железа (более электроотрицателен). Однако на воздухе он устойчивее, так как, окисляясь, покрывается плотной пленкой оксида. Ее изолирующее действие тем более значительно, что образующийся Al_2O_3 менее растворим в воде, чем оксиды железа.

Образование пленок играет существенную роль и в явлении *пассивации* металлов. Оно заключается в том, что некоторые достаточно активные элементы перестают быть таковыми после обработки сильным окислителем, например концентрированной азотной кислотой, или после анодной поляризации электрода в подходящем растворе за счет внешней электродвижущей силы (Э.Д.С.).

По масштабу поражения различают *общую* (сплошную) коррозию, захватывающую всю поверхность металла, и *местную*, поражающую лишь его отдельные участки.

Предрасположенность к коррозии оценивается по десятибалльной шкале. В соответствии с нею, нулевой балл присваивается «совершенно стойким металлам», линейная скорость коррозии которых составляет менее 0,001 мм/год, балльность 9 характеризует нестойкие металлы со скоростью коррозии более 10 мм/год.

5.1.3. Методы защиты

В настоящее время для борьбы с коррозией применяются: защитные покрытия; коррозионнотойкие металлы и сплавы; обработка и изменение состава внешней среды; электрохимические способы; организационно-технические мероприятия.

Под *защитными* понимают покрытия, создаваемые на поверхности металла с целью предохранения его от коррозии. По химическому составу их подразделяют на неметаллические и металлические.

Неметаллические покрытия могут быть представлены органическими и неорганическими веществами.

К простейшим органическим покрытиям относятся *смазки*, применяемые для временной защиты в виде высоковязких, или консистентных, связок (минеральные масла, вазелин, парафины, дегти и др.).

Наиболее распространенными органическими покрытиями при защите от атмосферы и в некоторых других случаях являются краски и лаки.

Краски состоят из суспензий минеральных веществ: дисперсной фазы красителей (оксиды железа, цинка, свинца, алюминиевые порошки, сажа и др.) в дисперсионной жидкой среде пленкообразователей (олифа, масляно-смоляная смесь), с добавлением наполнителей (слода, графит, тальк и т.д.) и сиккативов (органических солей свинца, кобальта или марганца), ускоряющих окисление и высыхание красок. Их широко используют для защиты корпусов речных и морских судов, портовых сооружений, резервуаров, металлорежущих станков, крыш и т.п.).

Лаки представляют собой раствор некоторых синтетических органических веществ, например эпоксидных, кремнийорганических и формальдегидных смол, в органических жидкостях (бензине, бензоле, ацетоне, этилацетате, скипидаре и пр.). При высыхании растворителя на покрываемой поверхности остается защитная пленка с красителями и различными наполнителями. Лаки широко применяют для окраски велосипедов, кузовов легковых автомобилей и автобусов, деревянных изделий и др.

К органическим относятся также покрытия битумами, пластмассами, резинами. Их закрепляют различными способами: в нагретом состоянии жидкими (битумы), газопламенным напылением (полиэтилен, фторопласт), листовой футеровкой (фаолит, винипласт, резина) и т.п. Данный класс защитных материалов обладает высокой стойкостью во многих химически агрессивных кислых и щелочных средах.

К неорганическим покрытиям относятся: цемент и бетон, в ряде случаев применяемые для защиты трубопроводов и резервуаров; *эмали* — прочная стеклообразная защита столовой и кухонной посуды, других бытовых изделий; кислотоупорные плитки, угольные блоки, свинцовые листы, используемые для футеровки разнообразных емкостей и аппаратов в химической промышленности, пиро- и гидрометаллургии; различные пленки оксидного, фосфатного, оксихроматного, сульфидного и тому подобного характера. Рассмотрим некоторые способы нанесения пленок на примере их оксидных типов.

Защитные пленки на металле могут быть получены химической или электрохимической обработкой их поверхности в специальных растворах, например при оксидировании стали и алюминия.

Оксидирование (воронение) стали и железа реализуют, погружая изделия в ванны с очень концентрированным раствором щелочи, в который добавляют окислители (MnO_2 , $NaNO_2$). Способ применяют для защиты изделий при коррозии в легких эксплуатационных условиях.

Оксидирование алюминия и его сплавов осуществляют чаще всего электролитически, путем анодной обработки в растворе 20%-й серной кислоты в присутствии окислителя или при последующей дополнительной обработке им. Оксидные пленки алюминия обладают значительной микропористостью, легко окрашиваются в различные цвета в растворах анилиновых красителей. Пленки, полученные в специальных электролизерах и при особых режимах (пониженная температура, повышенное напряжение), используют для увеличения износостойкости деталей из алюминия, придания им изоляционных свойств.

В последнее время получают распространение композиционные покрытия гетерогенного типа, выделяемые из электролитов-суспензий и содержащие неметаллические включения. Они превосходят обычные покрытия по твердости, износо- и коррозионной стойкости.

Все неметаллические покрытия эффективны до тех пор, пока сохраняется герметичность покрываемого слоя. При нарушении его целостности коррозия в обнаженных местах протекает неконтролируемо.

Значительно более сложны процессы коррозии при различных *металлических покрытиях*. По используемым металлам, способам их нанесения, значению они весьма разнообразны. Помимо защиты от коррозии, их наносят для придания изделию декоративных свойств (золочение), повышения его износостойкости (хромирование), электропроводности (серебрение) и т.п. Предметом данного курса являются только антикоррозионные покрытия. Основные способы их получения: горячий, термомеханический, распыление, диффузионный, химический, гальванический.

Горячий способ заключается в кратковременном погружении изделия в ванну с расплавом металла, смачивающим его поверхность. После извлечения и остывания изделия на нем остается защитная металлическая пленка. Это наиболее простой и старейший метод нанесения на ленту, проволоку, листы и другие изделия относительно легкоплавких металлов (Zn, Sn, Pb, Al). Однако горячий способ характеризуется значительным расходом покрывающего металла, затрудненностью регулирования толщины покрытия. В настоящее время он вытесняется более эффективными методами, в частности гальваническим.

Термомеханический способ (*плакирование*) основан на совместной горячей прокатке защищаемого металла и защитного металлического покрытия. Его применяют для изготовления биметаллических листов и лент. Таким образом сталь покрывают медью или латунью, дюралюминий — чистым алюминием, углеродистую сталь — нержавеющей и т.д.

Распыление (металлизация) состоит в нанесении расплавленного металла сжатым воздухом или инертным газом на поверхность

изделия. Капли расплава быстро застывают на ней, создавая защитный слой.

Диффузионный способ сводится к выдерживанию покрываемого изделия, при температуре, несколько меньшей температуры его плавления, в контакте с металлическим порошком, его оксидами или солями. Их термодиффузия в поверхностный слой изделия создает на нем необходимую защиту.

Химический способ предусматривает образование покрытий за счет восстановления металлов (Cu, Ni, Ag и др.) из их соединений на покрываемой поверхности. Так, химическое меднение чаще всего проводят осаждением меди на диэлектрики, например при изготовлении печатных плат, а химическое никелирование — осаждением никеля на профилированные детали. Последующая термообработка значительно повышает твердость химически осажденных металлов. В частности, применительно к никелю она превосходит прочность покрытий, полученных электролизом.

В настоящее время наиболее распространенный метод получения металлических покрытий — *гальванический* (электроосаждение). Покрываемые детали после необходимой подготовки, например шлифовки и полировки поверхности, удаления различных загрязнений, на специальных подвесках погружают в ванны с электролитом, содержащим ионы наносимого металла, и подключают к катодной штанге электролизера. Пластины из осаждаемых металлов (Zn, Cd, Cr, Ni, Sn и т.д.) или сплавов (Zn-Sn, Zn-Cd и др.) служат анодами. В качестве электролитов применяют самые разнообразные растворы: кислые, щелочные и т.п.

К преимуществам электроосаждения относятся: легкость регулирования толщины осаждаемого металла за счет изменения состава электролита, режима электролиза и других факторов; высокая адгезия покрытий с основными металлами; отсутствие нагрева и, следовательно, изменения структуры металлических изделий с возможной их деформацией; плотность гальванических покрытий.

По характеру защитного действия различают *анодные и катодные покрытия*.

К анодным относятся покрытия, металл которых в данной среде более электроотрицателен, чем металл изделия. Катодные покрытия, напротив, более электроположительны, чем защищаемый металл.

Пока покрытие сохраняет целостность и полностью изолирует изделие от воздействия окружающей среды, принципиальных различий в механизме защиты анодными и катодными покрытиями нет. Они выявляются при нарушении целостности покрытия. В качестве иллюстрации рассмотрим поведение двух образцов.

Первый образец — стальное изделие, покрытое оловом (рис. 5.2,а). Поскольку железо в условиях атмосферной коррозии электроотрицательнее олова, то в месте повреждения покрытия железо начнет интенсивно разрушаться (ржаветь). При этом олово, образуя с основным металлом гальванический элемент, усилит процесс коррозии.



Рис. 5.2. Схема коррозии металла с покрытием

Второй образец — стальное изделие, покрытое цинком (рис. 5.2,б). Поскольку цинк более электроотрицателен, чем железо, то в образовавшемся гальваническом элементе он станет анодом, а основной металл — катодом. Цинк начнет растворяться и, образуя гидроксид $Zn(OH)_2$, защищать железо. На последнем будет также выделяться водород, дополнительно пассивируя его поверхность. Таким образом, железо не подвергнется коррозии до тех пор, пока не разрушится практически весь цинк. Именно по этой причине ведра и корыта из оцинкованного железа, несмотря на царапины и другие повреждения покрывающего слоя, не ржавеют.

В целом для железа и его сплавов при атмосферной коррозии, помимо цинкового, анодным в некоторых условиях является кадмиевое покрытие, а катодными служат медное, никелевое, хромовое, оловянное, свинцовое, серебряное, золотое и др.

Вместе с тем разделение покрытий на катодные и анодные зависит от условий среды. Так, если при атмосферной коррозии олово по отношению к железу служит катодным покрытием, то в присутствии органических кислот и без доступа кислорода, например в консервах, олово выполняет роль анодного покрытия. Поэтому для покрытий необходимо использовать металлы, наиболее стойкие против коррозии в конкретных условиях.

В ряде случаев весьма эффективным приемом защиты от коррозии является изменение свойств основного металла. Это достигается введе-

нием в его состав специальных легирующих добавок, т.е. применением коррозионностойких (нержавеющих) металлов и сплавов. В настоящее время известно значительное число таких сталей и их сплавов, прежде всего хромо-никелевых и хромистых. Характер влияния добавок может быть при этом различным. Одни из них повышают термодинамическую устойчивость анодной фазы, другие пассивируют ее, третьи влияют на свойства катодных участков поверхности или экранируют поверхность металла защитным слоем, образуемым продуктами коррозии. Нержавеющие стали нашли применение в металлических конструкциях при их работе в агрессивных растворах, при повышенных температурах и давлениях (химическая промышленность); в пищевой отрасли, где не допустимо загрязнение обрабатываемого сырья и продукции корродированными частицами; при изготовлении различных бытовых приборов; в инструментальной и машиностроительной промышленности, судостроении и т.д.

Обработка и изменение состава внешней среды как метод сокращения коррозии заключается в удалении из нее некоторых веществ, вызывающих разрушение изделия (обработка), или же в добавлении к ней специальных веществ, замедляющих коррозионные процессы (изменение состава).

Обработка среды применяется лишь при ограниченном объеме последней и используется относительно редко. Примером этого вида защиты является удаление кислорода из воды, питающей паровые котлы.

Изменение состава среды достигается введением в нее ингибиторов — веществ, замедляющих или прекращающих химические реакции.

Ингибиторы могут быть представлены органическими и неорганическими веществами и по характеру действия разделяются на замедлители типа А, создающие на поверхности металла защитную пленку, и типа Б, уменьшающие агрессивность среды. В присутствии некоторых веществ одновременно образуются защитные пленки и уменьшается агрессивность среды (замедлители АБ смешанного типа). Наиболее часто используют соединения группы А. К ним относятся, например, ингибиторы коррозии стали в серной и соляной кислотах (так называемые травильные присадки), в воде и водных растворах солей, в частности нитрит натрия NaNO_2 и бихромат калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Замедлителями типа Б являются сульфит натрия Na_2SO_3 , добавляемый к воде для связывания растворенного в ней O_2 , и мочевины, введение которой в раствор азотной кислоты значительно снижает скорость растворения в ней меди. В настоящее время известны десятки ингибиторов солевого и кислотного составов.

В последнее время широкое распространение получили замедлители, вводимые в газовые смеси (летучие, или парофазные, ингибиторы ат-

мосферной коррозии), а также в твердые и вязкие среды. К летучим относятся в основном аминовые соединения, защищающие от коррозии стальные и другие изделия. Ингибиторами, добавляемыми в твердые и вязкие среды, пропитывают, например, оберточную бумагу, в которую завертывают стальные иглы, измерительный инструмент и т.п. Их вводят также в защитные консистентные смазки для предохранения деталей от коррозии при транспортировании и длительном хранении. К этому классу ингибиторов относятся, в частности, карбонат и бензоат моноэтаноламина.

Замедлители коррозии широко используются также при химических методах очистки черных металлов от окалины и ржавчины в растворах кислот. Эти ингибиторы уменьшают скорость растворения в кислоте основного металла, не снижая ее в отношении растворения ржавчины или накипи, элиминируют водородную хрупкость изделия, расход кислоты при травлении. Их действие объясняется тем, что они хорошо адсорбируются, снижая химическую активность поверхности защищаемого металла, но не его солей или оксидов.

Способом, близким по своей сути к методам обработки и изменения состава внешней среды, является помещение металла в защитную атмосферу (аргон, гелий, азот, водород, оксид углерода и др.). Это позволяет избежать образования окалины (до 3,5% экономии металла), повышает качество продукции за счет увеличения на 15-30% прочности и долговечности изделий.

Электрохимические способы борьбы с коррозией включают протекторную защиту и наложение внешней Э.Д.С. (катодная защита, или катодная поляризация).

Протекторная защита состоит в том, что к изделию при помощи проводника или непосредственно присоединяется пластинка более электроотрицательного металла. В образовавшейся гальванической паре основной металл по отношению к протектору является катодом и перестает разрушаться. Так, например, в паровые котлы вводят листы цинка, скрепленные металлической связью с их стенками. В получившемся гальваническом элементе более электроотрицательный в сравнении с железом цинк становится анодом, подвергается растворению и в виде пленки гидроксида $Zn(OH)_2$ покрывает корродируемые места котла. На стенках последнего и в дымогарных трубах выделяется также водород, снижающий окисление основного металла кислородом.

При *катодной защите* снижение коррозии достигается присоединением защищаемого металла к отрицательному полюсу внешнего источника постоянного тока. Изделие при этом поляризуется катодно. Иногда катодную поляризацию относят к *электрическим методам защиты от коррозии (Левин)*.

Протекторная и катодная защиты широко применяются для предохранения от коррозии корпусов морских судов, паровых котлов, подземных металлических сооружений — трубопроводов, газопроводов, резервуаров и т.п.

При определенных условиях защита металла осуществляется не катодной, а анодной поляризацией. Это обеспечивает образование и сохранение на нем пассивирующей пленки в тех случаях, когда самопроизвольной пассивации не происходит (железо в концентрированной серной кислоте, нержавеющая сталь в неокислительных условиях).

Организационно-технические мероприятия используют для защиты металлических конструкций от электрокоррозии блуждающими токами.

Поля блуждающих токов образуются за счет утечек с электрифицированного рельсового транспорта, заземленных промышленных установок и станций катодной защиты. В результате в 5-10 раз повышается коррозионная активность грунтов. Как следствие, например, около 30% повреждений в трубах на территории Москвы приходится на долю электрокоррозии от блуждающих токов и около 24% ее площади отнесено к территории с высокой степенью коррозионной опасности. На ней электрические поля блуждающих токов в сотни раз превышают естественный фон (*Мазур...*).

Для борьбы с блуждающими токами предусматривают:

удаление трасс коммуникаций тепловых сетей от рельсовых путей электротранспорта и уменьшение количеств пересечений с ними;

увеличение переходных сопротивлений между трубопроводами и грунтом за счет применения электроизолирующих опор труб;

установку изолирующих фланцев на трубопроводах при их подводе к объектам, являющимся источниками блуждающих токов (тяговые подстанции, ремонтные базы и т.д.);

повышение продольной электропроводимости трубопроводов на защищаемом участке установкой продольных токопроводящих перемычек на сальниковых компенсаторах и фланцевой арматуре;

уравнивание электрического потенциала между параллельными трубопроводами, прокладываемыми в общих строительных конструкциях; поперечные электроперемычки между смежными трубопроводами при использовании электрических методов защиты последних.

Выбор метода защиты от коррозии в общем случае зависит от условий, в которых используются металлические конструкции, материалы, заготовки. Так, для защиты изделий, не подвергающихся механическому воздействию и находящихся в жилых помещениях, зачастую достаточно однослойных лакокрасочных покрытий или химической обработки, например оксидирования. Для конструкций (железнодорожные мосты, подъемные краны, портовые сооружения, вагоны, кузова

автомобилей и т.д.) применяют более сложные по составу многослойные покрытия. Для деталей, работающих при повышенных температурах, не следует применять термически нестойкие лакокрасочные покрытия, для трущихся поверхностей нельзя использовать, например, фосфатирование, повышающее их коэффициент трения.

Выбор метода защиты предполагает также учет конструктивных особенностей изделий. Так, на детали сложной конфигурации (резкие сопряжения отдельных частей, внутренние полости и т.п.) трудно нанести равномерное по толщине гальваническое покрытие.

Методы защиты во многих случаях не только предохраняют металл от коррозии, но и придают изделиям из него высокие декоративные свойства. В частности, при отделке легковых автомобилей и мотоциклов сочетают полимерные лакокрасочные материалы с трехслойными металлическими покрытиями медь-никель-хром.

Весьма существенную роль при выборе антикоррозионных методов играют экономические соображения: стоимость защиты не должна превышать стоимости защищаемой конструкции. Наиболее дешевые варианты — это лакокрасочные покрытия и протекторы. Фосфатирование и оксидирование по стоимости близки к лакокрасочным покрытиям. Однако даже цинковое покрытие, наиболее дешевое из металлических, в несколько раз дороже лакокрасочного. Тем не менее при защите уникальных изделий, точных механизмов и приборов экономически целесообразным может оказаться применение самых дорогих методов, например золочения и серебрения (ювелирная промышленность, военная, космическая техника и пр.).

Способы, выбранные для защиты от коррозии, указываются в рабочих чертежах конструкций, в СНиПах, технических условиях и другой документации.

В процессах коррозии и при выполнении антикоррозионных мероприятий возникает значительное количество отходов. Это окалина первичных и замасленные шламы вторичных отстойников прокатных цехов, осадки и растворы травильных отделений этого передела, гальваношламы и др. В ряде случаев они представляют ценное вторичное сырье.

5.2. Коррозия неметаллических материалов

По масштабам наносимого экономического ущерба наиболее существенна коррозия строительных материалов. По химическому составу их разделяют на неорганические и органические, те и другие могут быть искусственного и естественного происхождения. Среди неоргани-

ческих материалов искусственными являются цемент, бетон, керамика, стекло, естественными — щебень, гравий, галька, песок, глина и т.п. К органическим искусственным материалам относятся битумы, дегти, композиции на их основе, к естественным — древесина и изделия из нее. Особую группу составляют комбинированные материалы: полимербетоны и бетонополимеры, древесно-цементные.

Объемы производства и коррозии строительных материалов еще более значительны, чем металлов. Так, например, ежегодное мировое производство стали превысило уровень 1 млрд т, цемента — два млрд т, круглых лесных материалов — 3500 млн м³, всех строительных материалов — 12 млрд т. При этом ущерб, наносимый коррозией памятникам культуры (скульптурным, архитектурным и др.), изготовленным из строительных материалов, вообще не имеет какого-либо приемлемого эквивалента ценности.

Наибольшие масштабы коррозии неметаллов связаны с разрушением искусственных неорганических материалов и древесины.

5.2.1. Искусственные неорганические строительные материалы

Основная масса их представлена цементами и бетонами разнообразного состава.

К цементам относятся дисперсные порошки, которые при смешении (затворении) с водой постепенно затвердевают, превращаясь в прочное камневидное тело. Основную их долю составляют вяжущие портландцементного типа (свыше 90% всего выпуска вяжущих), а также известь и гипс (кн. 1, разд. 8).

Бетон — один из древнейших строительных материалов (кн. 1, разд. 9.2.1.1).

Изделия из цемента и бетона, как и всякий другой материал, со временем подвергаются коррозии. На них воздействуют: природные воды (речные и морские) под давлением и омывающие; промышленные и бытовые стоки; сезонные и дневные колебания температур, атмосферной влажности; физические (волны, выветривание) и микробиологические факторы. В своей совокупности они составляют внешнюю причину коррозии. К разрушению приводят также внутренние причины: водопроницаемость изделий, взаимодействие щелочей цемента с кремнеземом заполнителей бетона, различия в температурных коэффициентах расширения отдельных составляющих и т.д.

В целом вся совокупность агрессивного воздействия окружающей среды на искусственные неорганические материалы может быть сведе-

на к физическим и химическим факторам, физической и химической коррозии.

К числу *физических* факторов относятся рассматриваемые ниже температурные (попеременное замораживание и оттаивание, нагрев и охлаждение) и влажностные колебания среды, отложения растворимых солей в порах и капиллярах цементного камня и бетона (солевой фактор коррозии).

Попеременное замораживание и оттаивание испытывают практически все сооружения в условиях атмосферного воздействия. При этом возникают две разрушающие силы. Первая обуславливается увеличением объема воды (~ на 9%) при ее замерзании, что приводит к большим гидравлическим давлениям на стенки пор и капилляров; вторая повышает осмотическое давление вследствие роста концентрации растворенных веществ в воде при льдообразовании. Величина осмотического давления достигает 1-2 МПа (*Бумт...*).

Бетонные и цементные конструкции могут находиться в зоне повышенных температур, например в металлургических и химических цехах. При 300-400°C и более высоких температурах вначале разлагаются гидратные новообразования, а затем и другие составляющие цементного камня, что снижает его прочность. Для повышения жаростойкости в бетоны вводят измельченные добавки шамота, туфа, трепела и т.п., образующих термически более стойкие соединения. Так, введение хромо-магнетитового порошка позволяет получить бетоны с огнеупорностью до 1700°C. Другим разрушающим фактором являются разные коэффициенты термического расширения различных компонентов цемента и бетонов, что особенно сказывается при быстрых скоростях нагревания и охлаждения массивных конструкций.

Попеременное увлажнение и высыхание вследствие климатических особенностей региона или специфических условий работы конструкции приводит к возникновению в ней деформаций набухания и усадки, которые можно заметно нейтрализовать, изменяя количество и гранулометрический состав заполнителей, вид и расход цемента, водоцементное отношение.

Солевая коррозия материалов возникает, если в грунтовых водах содержится большая концентрация водорастворимых солей (Na_2SO_4 , Na_2CO_3 , MgSO_4), а климат местности сухой и жаркий. Солевые растворы в таких условиях регулярно поступают в поры изделия, при этом вода из него испаряется, а из пересыщенного раствора выделяются кристаллогидраты, например $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Этот переход сопровождается увеличением объема твердой фазы в 1,5-3,0 раза и возникновением напряжений в теле изделия, равных десяткам мегапаскалей. В таких случаях испарение воды и разрушение,

например стеновых конструкций, обычно наблюдают на высоте 10-50 см от поверхности земли. Данный вид коррозии можно предотвратить, используя цементы и бетоны с малой открытой пористостью или защищая их гидроизоляцией.

Химические факторы коррозии включают воздействие на конструкции различных водных (растворы кислот, солей, щелочей) и кислых газовых (CO_2 , SO_2 , H_2S и т.д.) сред, а также ряда органических веществ. В этом случае разрушение происходит в основном по двум причинам: а) растворение соединений, составляющих затвердевший цемент, или продуктов их взаимодействия с компонентами внешней среды; б) образование под влиянием агрессивных сред новых веществ, имеющих больший объем, чем исходные соединения.

Выделяют несколько видов химической коррозии: выщелачивания, сульфатную, магниезальную, хлоридную, кислотную, углекислую, газовую, органическими соединениями. Их краткая характеристика дается ниже.

Коррозия выщелачивания заключается в постепенном растворении и вымывании извести из цементов и бетонов. Она наблюдается при фильтрации через них воды под давлением или их омывании ею. В этих условиях основные соединения цементного камня, прежде всего оксид кальция, растворяются в воде (1,3 г/л CaO при комнатных температурах). Поскольку уже через 1-3 месяца твердения в обычных условиях содержание оксида кальция в цементном камне может достигать 10-15%, то его вымывание существенно ослабляет структуру последнего. Для снижения выщелачивания извести необходимо выбирать цементы с гидравлическими добавками, использовать бетоны с повышенной плотностью.

Сульфатная коррозия состоит в том, что водные растворы, содержащие сульфаты кальция, магния и щелочных металлов, вступают в реакции с составляющими цемента (гидроксидами, гидроалюминатами кальция), образуя гипс и гидросульфатоалюминаты кальция. Последние имеют значительно больший объем, чем исходные компоненты. Это вызывает разбухание и искривление элементов строительных изделий. Данный вид коррозии чаще всего проявляется в сооружениях под действием морской воды, в которой концентрация сульфатов обычно равна 2-3 г/л в пересчете на ион SO_4^{2-} . Присутствие в воде солей хлора уменьшает разрушающее действие сульфатов, так как гипс и гидросульфатоалюминаты кальция повышено растворимы в растворах хлоридов и, вымываясь, устраняют причину разрушения.

Элиминирования сульфатной коррозии можно достичь снижением в цементном камне содержания гидроксида и гидроалюмината кальция, а также других составляющих, способных взаимодействовать с сульфа-

тами с образованием соединений, разрушающих структуру. Важным фактором является повышение плотности и непроницаемости бетона, особенно на стыках конструкций.

Магнезиальная коррозия обусловлена обменной реакцией между растворимой солью магния, прежде всего хлористым магнием, и гидроксидом кальция. Образующийся гидроксид магния не обладает вяжущими свойствами и менее растворим, чем $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Последнее обуславливает протекание реакции до конца, т.е. до полного израсходования гидроксида кальция, что резко снижает прочность конструкций и ведет к их разрушению. Коррозия цемента под действием хлористого магния становится значительной при его концентрации в воде 1,5-2,0%.

Еще более разрушительна комбинированная *сульфатно-магнезиальная коррозия*, в которой принимает участие сернистый магний. В этом случае образуется не только гидроксид магния, но и двухводный гипс:



Меры снижения магнезиальной коррозии аналогичны отмеченным для сульфатной коррозии.

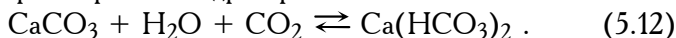
Хлоридная коррозия определяется присутствием растворов хлоридов натрия и калия. При умеренных концентрациях они не оказывают отрицательного влияния на прочность цементного камня, так как образующиеся при их взаимодействии с гидроксидом кальция растворы гидроксидов натрия и калия при концентрациях до 5% заметно не влияют на бетон нормальной плотности. Более агрессивны растворы хлористого кальция высокой концентрации. Однако хлоридная агрессия опасна для железобетонных конструкций, поскольку при воздействии на металл хлоридов натрия, калия и кальция протекает его электрохимическая коррозия. Этому способствует вымывание из изделий образующихся хорошо растворимых хлоридов железа.

Кислотная коррозия возникает под влиянием различных неорганических кислот, химически взаимодействующих с гидроксидом кальция и другими составляющими цементного камня. При этом образуются или легко растворимые соли, которые вымываются из бетона, или нерастворимые соединения, например гидроксиды кремния или алюминия в виде рыхлых масс. Взаимодействие сопровождается снижением прочности и полным разрушением конструкций. Данный вид коррозии может протекать очень интенсивно, так как цементный камень содержит значительное число оснований и солей, которые обычно энергично взаимодействуют с кислотами.

Отрицательное действие кислых вод в безнапорных сооружениях на бетоны нормальной плотности становится заметным при pH среды

$\leq 6,5$, а на особо плотные — при $\rho\text{H} \leq 4,9-4,0$. Серная, соляная, азотные кислоты 1%-й концентрации, как и 5%-я фосфорная кислота, сильно разъедают бетон в течение небольшого периода времени.

К кислотному типу относится также *углекислая коррозия*, развивающаяся при воздействии на цементный камень и бетон воды, содержащей диоксид углерода. Первоначальное взаимодействие с ним гидроксида кальция цементного камня приводит к образованию малорастворимого карбоната кальция. Однако продолжение процесса ведет к появлению более растворимого гидрокарбоната:



Для защиты бетонов от кислых сред используют специальные кислотостойкие вяжущие (кварцевые цемента, жидкие стекла). Повышенной стойкостью обладают также полимерцементные композиции на полихлоропреновом и натуральном латексах. Кислотоупорность обычных бетонов можно повысить, обрабатывая их поверхность разбавленными серными и соляными кислотами или растворами хлоридов кальция и магния. В этом случае поверхностные поры закупориваются продуктами реакций между обрабатываемым веществом и натриевыми солями цементного камня, что повышает водостойкость последнего.

Газовая коррозия состоит в том, что бетонные конструкции разрушаются газами, содержащимися в атмосфере (SO_2 , NO_2 , H_2S и др.). Их присутствие даже на уровне ПДК или несколько более высоко, т.е. порядка сотых долей миллиграмма на метр кубический, достаточно для коррозии материалов. Практически все составляющие цементного камня и бетона термодинамически не устойчивы в присутствии этих газов. Последние наиболее агрессивны во влажной атмосфере, когда образуются растворы, выпадающие в виде кислотных дождей (разд. 5.3.2.1). В данном случае для защиты от коррозии наиболее эффективно применение многослойных лакокрасочных покрытий, которые периодически, через три-четыре года, возобновляют, или использование в качестве заполнителя бетонов карбонатов, более стойких к воздействию кислых газов.

Коррозия органическими соединениями заключается в том, что ряд из них, например уксусная, молочная, масляная и винная кислоты, обычно содержащиеся наряду с другими в пищевых продуктах и отходах их изготовления, агрессивны по отношению к искусственным неорганическим строительным материалам. Вызывает коррозию ряд растительных масел (льняное, хлопковое, тунговое) и жиров животного происхождения, например рыбьего. В этих соединениях находятся высокомолекулярные кислоты, насыщенные и ненасыщенные (олеиновая, стеариновая, пальмитиновая и др.). При взаимодействии с гидроксидом кальция цементного камня они омыляются с образованием много-

атомных спиртов и солей жирных кислот, в частности олеата и глицерата кальция, разрушающих материал. Влияние нефти и минеральных масел на коррозию выражено заметно слабее, так как они химически не взаимодействуют с компонентами цементного камня.

Таким образом, для обеспечения долговечности искусственных неорганических строительных материалов в условиях агрессивной среды обычно применяют плотные бетоны или специальные марки цемента, устойчивые к коррозии. Высокая плотность обеспечивается правильным проектированием состава бетона, высококачественными заполнителями, введением пластифицирующих и гидрофобизирующих добавок, некоторых полимеров в виде замазок, мастик и т.п.

Если перечисленные меры не могут дать требуемого эффекта, то изделие изолируют от окружающей среды. Для этого прибегают к двух-трехкратной окраске поверхностей битумными эмульсиями, покрытию их расплавленным битумом, оклейке рулонными материалами типа гидроизола, оштукатуриванию горячими асфальтовыми мастиками, различным способом гидроизоляции. Иногда, например при углекислотной коррозии, вокруг конструкции устраивают засыпку из карбонатных пород, способствующих смягчению агрессивности воды при ее фильтрации через эти материалы. Следовательно, способ защиты от коррозии в каждом конкретном случае определяется в зависимости от ее причин.

Особую группу изделий составляют памятники материальной культуры: старинные здания, внешняя скульптура, триумфальные арки, колонны, пирамиды и т.п. Для их защиты зачастую используют дорогостоящие методы, в частности пропитку специальными составами, нанесение лаковых покрытий. В музейных условиях дополнительно поддерживают оптимальные температуру и влажность среды, в ряде случаев — контролируемую атмосферу (в среде нейтральных газов, в вакууме и пр.).

5.2.2. Строительные материалы из древесины

Эти материалы относятся к числу естественных воспроизводимых ресурсов органического происхождения, нашедших широкое применение. Во многих районах России они являются единственными при жилищно-гражданском строительстве и возведении небольших жилищно-хозяйственных построек. Привлекательность древесины объясняется ее специфическими свойствами: сравнительно высокой прочностью, небольшой объемной массой, низкой теплопроводностью, легкой обраба-

тываемостью. Вместе с тем она имеет недостатки (склонность к загниванию, сгораемость и т.д.).

Для повышения био- и огнестойкости древесины обрабатывают антисептиками, антипиренами, огнестойкими красками и обмазками.

Антисептики, т.е. вещества, вызывающие гибель микробов, в том числе гнилостных, можно разделить на растворные, чистые органические жидкости и пасты. Все они представлены органическими, а также неорганическими веществами (в растворах и пастах).

К *антисептикам растворным* относятся динитрофенолят $C_6H_3(NO_2)_2ONa$ и фенолят натрия C_6H_5ONa , нафтенат меди, оксидифенол, фтористый (NaF) и кремнефтористый $[(NH_4)_2SiF_6]$ аммоний и др. Большая часть перечисленных веществ токсична. Применяют их в водных растворах 3-5%-й концентрации или растворяя в жидких нефтепродуктах (мазуте, керосине и т.п.).

Чистые органические жидкости-антисептики включают каменноугольное, каменноугольное полукоксовое, антраценовое, сланцевое масла, карболинеум. Их применяют в подогретом до 50-60°C состоянии. Пропитанная ими древесина снижает гигроскопичность и не поддается окраске. Они являются лучшими антисептиками для шпал, воздушных опор, опор мостов и т.д.

Антисептирующие пасты (битумные, силикатные, глиняные и др.) применяют для защиты деревянных конструкций, работающих в грунтах с переменной влажностью.

Антипирены предохраняют древесину от воспламенения и самостоятельного горения. Их действие определяется низкой температурой плавления, при которой образуется плотная пленка, преграждающая доступ кислорода к материалу, или разложением при нагревании с выделением инертных газов, затрудняющих горение. К наиболее распространенным антипиренам относятся фосфат $[(NH_4)_3PO_4 \cdot 3H_2O]$, сульфат $[(NH_4)_2SO_4]$ и хлорид (NH_4Cl) аммония, бура $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ и борная кислота H_3BO_3 , хлористый цинк. Их используют в виде водных растворов из расчета 50-66 кг безводного вещества на $1 м^3$ пропитываемой древесины.

Эффективны и распространены для защиты от огня *краски*, обычно силикатные. Они включают жидкое растворимое стекло, тонкомолотый кварцевый песок, мел, магнезит и другие добавки.

В качестве *обмазки* наиболее часто применяют суперфосфат-сульфитную композицию, состоящую из смеси 25% суперфосфата, 15% сульфитного щелока, 25% глины и 35% воды с пигментом. Простейшим и общедоступным средством защиты древесины и конструкций из нее от огня является обмазка на основе глины, извести, гипса и других компонентов.

В некоторых случаях для предохранения древесины от возгорания достаточно конструктивных решений: предотвращения ее непосредственного соприкосновения с огнем, удаления от источника нагревания.

5.3. Эрозионные процессы

Эти явления, ведущие к разрушению горных пород и почв, равным образом обуславливаются как природными факторами геологического характера, ведущими к изменению поверхности Земли, так и антропогенными нагрузками на окружающую среду.

5.3.1. Геологическая деятельность

5.3.1.1. Общие представления

Земная кора находится под влиянием внутренних (эндогенных) и внешних (экзогенных) сил. Первые приводят к образованию крупных форм рельефа — гор, вулканов, плоскогорий, глубоких впадин — в результате поднятия и опускания земной коры, тектонических (горообразующих) сдвигов, вулканической деятельности, землетрясений. Вторые вызывают разрушение первичных магматических и метаморфических горных пород, образование осадочных материалов вторичного происхождения. В возникновении экзогенных процессов основную роль играют энергия Солнца и, отчасти, сила тяжести.

Продукты разрушения пород ветром, водой, ледниками и т.п. перемещаются в сторону падения рельефа, что приводит к постепенному выравниванию поверхности и образованию долин.

Интенсивность эрозии горных пород принято определять временем, необходимым для разрушения их слоя высотой 1 м. Эта продолжительность меньше в горных районах и составляет, например, 1750 лет для Северных Альп, 2210 — для Кавказа, 3750 — в Средней Азии. На равнинных территориях она значительно больше (порядка 33 тыс. лет в европейской части России).

Все факторы экзогенного воздействия проявляются либо на границе атмосферы и литосферы, либо гидросферы и литосферы. В первом случае наиболее разрушительными являются колебания температуры, атмосферные осадки, замерзание воды, ветер, атмосферные разряды и т.п., объединяемые в группу *атмосферных агентов*. Их совокупность обуславливает *выветривание горных пород*, их дефляцию. Во втором случае разрушение осуществляется в основном движущимися потоками воды (*водная эрозия*).

5.3.1.2. Выветривание

Этот процесс определяется многообразными факторами. В зависимости от того, какие именно атмосферные агенты являются основными и каков при этом характер изменения горных пород, различают физическое, химическое и биологическое выветривание.

Физическое выветривание разрушает горные породы без изменения их минерального состава. Оно происходит за счет быстрой смены температур, действия льда, образующегося при замерзании воды, и ветра. Решающую роль играют температурные колебания, которые в областях с резко континентальным климатом в течение суток могут достигать 40°C и более. Частая и глубокая смена температур приводит к трещинообразованию в породах, вызванному различными коэффициентами объемного и линейного расширения их отдельных составляющих. В частности, коэффициент объемного расширения кварца вдвое больше, чем ортоклаза, одного из ведущих породообразующих минералов. Обломки породы становятся столь непрочными, что для их разрушения достаточно небольшого усилия. Так, в долинах рек Кавказа нередко можно встретить гранитные валуны, по внешнему виду почти не отличимые от той же породы в ее коренных залеганиях. Однако даже при нажатии пальцами некоторые из них рассыпаются с выделением зерен кварца, полевых шпатов и слюды.

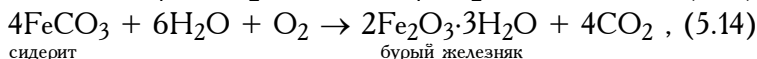
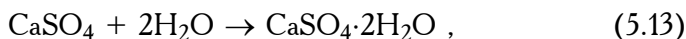
Разрушительное влияние изменения объема пород особенно возрастает при их регулярном промерзании. Как уже отмечалось (разд. 5.2.1), превращение воды в лед сопровождается 9%-м увеличением объема. Возникающее при этом давление расклинивает, углубляет и расширяет трещины.

В результате физического воздействия массивные плотные породы постепенно превращаются в *рухляк выветривания*.

Химическое выветривание имеет место при взаимодействии минералов и пород с водой и содержащимися в них веществами, с диоксидом углерода и кислородом воздуха. При этом происходит растворение минералов, изменение химического состава пород.

Хорошо растворяются, в частности, галогены (каменная соль NaCl , сильвин KCl), достаточно хорошо — сульфатные (ангидрит CaSO_4 , гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), карбонатные (известняк CaCO_3 , поташ K_2CO_3) и некоторые другие минералы. Как следствие растворения в толщах пород возникают пустоты различной величины и формы (воронки, каверны, пещеры), снижающие устойчивость первоначального массива.

Изменение химического состава пород обуславливается, например, реакциями гидратации (5.13), окисления (5.14) и гидролиза (5.15):



В результате химического выветривания порода становится еще более раздробленной и мелкодисперсной.

Обычно физическое и химическое выветривание протекают одновременно, инициируя друг друга. Первое из них преобладает в областях с континентальным сухим климатом, второе — на территориях с большим количеством атмосферных осадков.

Биологическое выветривание развивается под воздействием растительных и животных организмов, микробов, продуктов жизнедеятельности живых существ, разложения последних после отмирания. Так, способствует разрушению горных пород извлечение из них различных веществ мхами, лишайниками и корневыми системами растений. Некоторые бактерии, населяющие поры рыхлых пород на поверхности Земли и на глубинах, измеряемых сотнями метров, могут извлекать ряд элементов, в частности углерод карбонатных минералов, разрушают силикаты. Кроме того, живые организмы выделяют CO_2 и органические кислоты, способствующие растворению и гидролизу некоторых веществ литосферы. Образующиеся при разложении остатков растений и животных гумусы и низкомолекулярные органические кислоты (щавелевая, уксусная и др.) также разъедают первичные породы.

Особо следует отметить деятельность животных-землероев (мышей, сусликов, кротов и пр.). Появление большого количества нор приводит к существенному ослаблению грунтов во многих степных районах. В этом отношении примечательна история одного аэродрома в Южной Африке. До его строительства там обитали соколы, съедавшие ежедневно до шести мышей каждый. Шум самолетов разогнал птиц, что привело к спонтанному размножению грызунов. Они так разрыли грунт, что аэродром оказался не пригодным для эксплуатации.

Продукты выветривания горных пород в виде обломочного материала могут перемещаться ветрами — как во взвешенном состоянии, так и по поверхности.

Пример перемещения во взвешенном состоянии — песчаные и пылевые (чернозем) бури. Летящие по воздуху на относительно небольшой высоте частицы истирают встречающиеся на их пути выходы скальных пород, перерезают телеграфные и иные столбы, выводят из хозяйственного обращения богатые черноземные земли.

Перемещение частиц по поверхности обуславливает образование движущихся бугров: дюн по берегам рек, морей; барханов в пустынях. Скорость перемещения дюн перпендикулярно направлению господствующих ветров равна 10-30 м/год, барханов — до 20 м/сут. Все находящееся на их пути (пахотные земли, населенные пункты, дороги и т.п.) может оказаться погребенным под толщей песка. Его перенос становится особо интенсивным тогда, когда по причинам естественного и антропогенного характера нарушается дерновый покров поверхности земли.

Наиболее действенны при защите от уже начавшегося движения песков *агроресомелиоративные мероприятия*: сеяние трав, посадки кустарников и деревьев. Применяется и техническое закрепление песчаных масс с использованием различных эмульсий, например битумных. Оно используется как временная мера, необходимая на период развития корневой системы на механически укрепленных участках.

5.3.1.3. Водная эрозия

В данном виде эрозии основной разрушительной силой являются моря, потоки дождевых, талых и речных вод, грязе-каменные, ледники, оползни, карсты. Водную эрозию подразделяют на горизонтальную (плоскостную) и вертикальную (глубинную).

Горизонтальная эрозия проявляется в том, что выпадающие осадки или талые воды, стекая по уклону, захватывают и сносят вниз верхний слой рыхлой породы или почвы. В нижней части склона или у его основания снесенный материал накапливается в виде так называемых *делювиальных отложений*. Последние обычно представляют собой суглинки и супеси, по минеральному составу связанные с породами, расположенными выше по склону. Делювиальные отложения широко распространены, отсутствуя практически лишь на пустынных, бедных атмосферными осадками территориях.

Сильным средством борьбы с горизонтальной, особенно почвенной, эрозией являются лесонасаждение и травосеяние, уменьшающие поверхностный и увеличивающие подземный сток. Это обуславливается тем, что в пределах лесных участков на земле создается подстилка из опавших листьев, препятствующая стеканию воды, но достаточно водопроницаемая. Кроме того, снег, скопившийся между деревьями, тает медленнее, чем на открытых местах, что также способствует проникновению влаги в почву и повышению дебита подземных вод.

При *вертикальной эрозии* образуются *овраги* — вытянутые и разветвленные углубления, врезанные в рыхлую породу. Их образованию способствуют пересеченный рельеф местности, ливневый характер выпадающих осадков, быстрое снеготаяние, наличие легко размываемых по-

род (лесс, лессовидный суглинок, супесь). Оврагообразование приводит к потере больших площадей плодородных земель, что подтверждается примером ряда российских областей (Орловской, Курской, Воронежской и др.).



Рис. 5.3. Борьба с оврагообразованием с помощью бьefов

Основная мера предупреждения оврагообразования — снижение поверхностного и увеличение подземного стока, что достигается за счет лесозащитных насаждений. Большое значение имеют также почвозащитные приемы (разд. 5.3.2.2). Для стабилизации уже имеющихся оврагов применяют и простейшие мелиоративные мероприятия, например устройство запруд, делящих овраг в продольном направлении на ряд бьefов (рис. 5.3). Запруды устраивают из подручного материала: камня или fascин из хвороста. Дно оврага в месте переливания воды через запруду укрепляют камнями или деревьями.

При прекращении роста овраг постепенно сглаживает свои очертания, зарастает и превращается в балку.

Различные виды водных потоков вносят свои особенности в водную эрозию.

Речные воды перемещают продукты эрозии в виде растворенных веществ, взвешенных частиц песка, пыли, ила, а также волочением по дну. Часть материала уносится в озера, моря, океаны, другая

образует осадки преимущественно механического происхождения (аллювиальные наносы). Одновременно формируются *речные долины*. Вначале они развиваются в результате вертикальной, а затем расширяются вследствие плоскостной эрозии, приобретая сложное строение. В их состав входят *русло* — ложе, по которому течет река, *пойма* — часть долины, заливаемая в половодье, и *террасы* — приподнятые над поймой горизонтальные или слегка наклонные территории. Возникают также *дельты* — участки побережья при устьях рек, образуемые речными отложениями, и *водоразделы* — участки суши, отделенные друг от друга долинами рек. Аллювиальные отложения скапливаются, как правило, в пойме и руслах.

Эрозийная деятельность моря проявляется преимущественно в волновом воздействии на берег (абразия). Давление волн может достигать

10 т/м² и способно перемещать глыбы массой более 100 т. Обломочный материал, вовлеченный в движение, вызывает дополнительное разрушение горных пород. Абразия приводит к отступлению берега, иногда со скоростью 50-80 м/год.

Как следствие деятельности моря на побережьях возникают береговые валы, косы, бухты, морские террасы.

Для снижения воздействия моря на берег, особенно в пределах населенных пунктов, портов, пристаней и т.п., в ряде случаев создают искусственные и укрепляют естественные пляжи, выполняющие роль волногасителей. Это делают с помощью *бун*, устраиваемых через несколько десятков метров одна от другой. В простейшем варианте они представляют собой деревянные ряжи (срубы из бревен, заполняемые камнем), которые располагают перпендикулярно линии берега. Для изготовления бун широко используют также бетон и железобетон.

Из других защитных сооружений отметим волнорезы (волноломы) и молы. *Волнорез* представляет собой заградительную стенку или вал либо отдельные бетонные или железобетонные кубы недалеко от береговой линии. *Мол* — сооружение, возводимое обычно в районе гавани в виде прочной стены, примыкающей одним концом к берегу, а другим уходящей в море. Его используют также для причаливания судов.

К опасным природным явлениям относятся склоновые перемещения масс. Наиболее существенны из них сели, ледники, оползни и близкие к последним обвалы и осыпи. Эти перемещения — из категории гравитационных и представляют собой смещение масс вниз по рельефу под воздействием силы тяжести. Смещение усиливается наличием воды.

Сели, или *грязе-каменные (грязевые) потоки*, периодически появляющиеся в горных и предгорных областях, состоят из воды и влекомых ею крупных и мелких обломочных материалов. Масса их значительна. Один из таких потоков 1926 г. в течение четырех часов выбросил на улицы Алма-Аты около 665 тыс. м³, или порядка 1,3 млн т, грязи и камней, снес дома, фруктовые сады, привел к гибели людей и животных. Весьма мощные селевые потоки, спровоцированные извержением вулкана Эль-Руиз (Колумбия, 1985 г.) привели к гибели 23 тыс. жителей г. Армеро. Здания и деревья были буквально срезаны селом.

Возникновению селей способствует разрушение дернового покрова, вырубка деревьев и кустарников в пределах водосборных площадей, оврагов, балок и рек. Поэтому сохранение растительных форм является важнейшим профилактическим мероприятием в борьбе с селями.

Для защиты от них населенных пунктов, как и при борьбе с оврагами, устраивают запруды. В отдельных случаях создают специальные бассейны для отвода в них грязе-каменных потоков. Здесь последние освобождаются от выпадающего на дно обломочного материала. Боль-

шое значение имеет также ливневая канализация, локализующая водные потоки и снижающая возможность образования селей.

Большой разрушительный потенциал таят в себе *ледники*. Причина их образования — выпадение большого количества снега на территориях с низкой температурой. Снег в таких условиях не успевает таять, постепенно накапливается, под действием силы тяжести уплотняется и превращается в кристаллический лед. В настоящее время ледники занимают около 10% суши, причем только 0,5% из них находится в горных районах, остальные расположены в полярных областях.

Скорость перемещения ледника возрастает с увеличением массы и угла наклона местности, составляя 0,1-22 м/сут. При движении он производит громадную эрозионную работу: прорывает котловины, разрушает скалы, переносит захваченный материал. Последний при таянии льда освобождается, транспортируется ледниковыми водами далее, откладываясь в другом месте.

Ледники изымают значительное количество воды из гидросферы и, как следствие, понижают уровень Мирового океана. Их таяние приводит к обратному результату. О масштабах возможного колебания уровня воды можно судить по тому, что если бы современные льды Антарктиды полностью растаяли, то это привело бы к подъему уровня океана на более чем 60 м (разд. 1.6).

Оползни представляют собой смещение грунтов под действием силы тяжести по увлажненной поверхности скальных пород. Оно возникает при внезапном движении земли в районах с крутыми склонами и, как правило, при наличии значительных осадков. Оползни — частое явление на склонах долин рек, оврагов, берегов морей, искусственных выемок. В России оползневые процессы развиты на Черноморском побережье Кавказа, в долинах Волги, Днепра, Дона и других рек, в горных районах. Их наличие снижает устойчивость массивов горных пород, приводит к нарушению поверхностного стока, истощению ресурсов подземных вод при их вскрытии, образованию заболоченностей, гибели почвенного покрова и т.д.

Особо драматические ситуации возникают, если оползень или обвал (обрушение горных пород со скальных или относительно сухих рыхлых крутых склонов) происходят вблизи населенных пунктов.

Так, в 1903 г. в Канаде обрушилась вершина горы Тертл, низвергнув на горняцкий поселок более 30 млн м³ пород. Погибло 70 человек, была засыпана Трансканадская железная дорога. В 1959 г. оползень, вызванный землетрясением в Монтане (США), привел к образованию нового озера Эфквейн. Число жертв составило 28 человек. В Непале от оползней погибло 35 тыс. жителей. В результате

массовой активизации оползней в Чечне и Ингушетии зимой и весной 1989 и 1998 гг. без крова осталось около 27 тыс. человек.

Карсты как геологическое явление возникают в водонеустойчивых осадочных горных породах (известняках, доломитах, гипсах, каменной соли, др.) и приводят к образованию приповерхностных и подземных пустот (воронки, провалов, пещер, котловин и т.п.).

Карсты широко распространены в мире, в том числе и в России, в частности в Башкирии, в центральной части Русской равнины, в Приангарье, на Северном Кавказе — почти везде, где имеются растворимые горные породы.

5.3.2. Антропогенное воздействие

Антропогенное воздействие на процессы эрозии почв по масштабам и последствиям сравнимо с геологическим, особенно в ареалах интенсивного хозяйствования людей и невысокого уровня противоэрозионных мероприятий. Формы этого воздействия, как следует из нижеизложенного, многообразны.

5.3.2.1. Факторы деградации почв

Площадь земельных ресурсов мира составляет 129 млн км², или 86,5% суши. Из них пахотно-пригодными, по различным оценкам, являются 25-35 млн км², из которых используются около 15 млн км². Сенокосы и пастбища занимают 37,4 млн км².

Земельный фонд России в 2002 г. был равен 1709,6 млн га, в том числе (в скобках — проценты): земли сельскохозяйственных предприятий и граждан — 651 млн га (38,1); лесной фонд — 878 (51,4); территория населенных пунктов — 6,2 (0,4); земли промышленности, транспорта, связи и иного несельскохозяйственного назначения — 17,7 (1,0); природно-заповедный фонд — 20,7 (1,2); водный фонд — 18,1 (1,0); земли запаса — 117,8 (6,9).

Земельные ресурсы России сельскохозяйственного назначения, в первую очередь для земледелия, находятся в весьма различных условиях. В частности, территории вечной мерзлоты занимают более 60% общей площади страны, однако свыше половины мировых запасов чернозема также принадлежит России.

Земельный фонд неравномерно распределен по регионам. Доля пашни в них изменяется от 5 до 70-85%. При этом распашка более половины территории считается превышающей разумные пределы.

Особенно данное обстоятельство проявляется в Центральном Черноземье, на Северном Кавказе и в Поволжье.

Основные факторы деградации почв, вызывающие ее эрозию, — сельскохозяйственные и промышленные. К первым относятся уменьшение площади лесов, вторичное засоление почв, их опустынивание, нерациональное ведение сельскохозяйственных работ, использование пестицидов. Вторые обусловлены разработкой полезных ископаемых, загрязнением токсикантами, наличием водохранилищ, подтоплением почв, размыванием морских побережий, кислотными дождями и т.д. Рассмотрим основные перечисленные сельскохозяйственные и промышленные факторы деградации почв.

Сельское хозяйство развитых стран достигло весьма высокого уровня производительности и урожайности. Так, один фермер США или Западной Европы обеспечивает продовольствием 60-80 человек; на 100 га земельных угодий занят один работник. Современный уровень сельскохозяйственной науки и практики способен обеспечить пищей до 12 млрд людей (вдвое больше, чем население Земли в настоящее время) при использовании только долин двух великих индийских рек (Инда и Ганга).

Вместе с тем интенсивный, а в некоторых случаях и хищнический характер ведения сельского хозяйства привел к обострению экологических проблем, прежде всего под влиянием водной и ветровой эрозии. На долю первой приходится до 56% всех эродированных почв, второй — 28%. Если в период до неолитической революции, т.е. до появления земледелия и животноводства, объем почвы, смываемой в реки и океаны, по оценкам, составлял 9 млрд т/год, то в 1968 г. он достиг 24 млрд т, в 2002 г., по прогнозу, 55-60 млрд т.

Одна из основных причин увеличения водной и ветровой эрозии — вырубка лесов. В стремлении ввести в оборот дополнительные земли уничтожено свыше половины всех лесов в мире. Их общая ежегодная вырубка достигает 11,6 млн га. Это, в свою очередь, приводит к резкому повышению скорости смывания почвенного слоя. По имеющимся оценкам, смывание такого слоя мощностью в 20 см при наличии леса и прочих равных условиях требует 174 тыс. лет, луга — 29 тыс., при обычной обработке почвы — 100, при полном отсутствии растительности — 17 лет. Масштабный характер влияния леса на процессы деградации почв подтверждается новейшей практикой. В частности, до вырубки леса, окружавшего один из населенных пунктов морского побережья Франции, влага дождей из его окрестностей достигала побережья через 3-4 дня. После вырубки для этого достаточно 3 ч.

Особенно разрушительна эрозия почв на склоновых землях. Смывание ее увеличивается пропорционально уклону и его длине. При по-

вышении уклона с 2 до 4° оно возрастает в 1,8 раза, с 4 до 8° — в 7,2 раза. Удлинение склона с 400 до 500 м усиливает вынос почвы на 30%, а с 300 до 450 м — почти на 50% (*Земледелие...*).

В России примерно 2/3 пашни подвергаются ветровой и водной эрозии на уровне потери плодородия. Имеется, в частности, более 400 тыс. оврагов площадью свыше 1,5 млн га. Около 26,2 млн га (20,4%) расположено на смытых почвах, 2,1 млн га (1,7%) находится под совместным воздействием водной и ветровой эрозии, 7,9 млн га (6,1%) дефлировано, всего же к дефляционной опасности относится 44 млн га (32,2%). Особую тревогу вызывает рост площади эродированных черноземов. В последние два десятилетия она увеличивается на 250-300 тыс. га/год. На многих черноземных территориях 50% и более распаханых земель эродировано. Ежегодно до 25-30 тыс. га черноземов теряется в результате роста оврагов. По оценкам экспертов ООН, Россия находится в десятке мировых лидеров по темпам распространения эрозии. В частности, водной эрозии, переувлажнению и заболачиванию подвержено более 25 млн га земель сельскохозяйственного назначения и еще свыше 7 млн га подтоплено и затоплено за счет ежегодных наводнений (Карамышев).

В целом водно-ветровая эрозия привела к полной или частичной потере плодородия на более чем половине всей пашни мира. Ежегодно по этой причине из сельскохозяйственного использования выбывает 50-70 тыс. км², что составляет более 3% ее площади.

На снесенных почвах эффективность сельскохозяйственного производства снижается на 30-60%. Нередко возделывание на них пищевых и кормовых культур без проведения мероприятий по восстановлению плодородия становится убыточным.

Губительное воздействие на качество земель оказывает их *вторичное засоление*. Оно заключается в накоплении в верхних слоях почвы легкорастворимых солей (соды, хлоридов, сульфатов и т.п.). Основная причина вторичного засоления — неумеренный, бессистемный полив земель при отсутствии дренажа, нарушение водного баланса фильтрационными водами оросительных систем. Эта экологическая проблема коснулась прежде всего аридных районов. Из 270 млн га орошаемых в мире земель 40% подвержено вторичному засолению, в том числе в Пакистане — 75, Ираке и Иране — более 50%. В Нижнем Поволжье под угрозой вторичного засоления находится практически вся орошаемая территория. Если до введения орошения грунтовые воды находились здесь на глубине 5-7 м и имели минерализацию, равную 0,4-4,5 г/л, то в результате его осуществления произошел резкий подъем уровня грунтовых вод (вплоть до 0,5-1,0 м), а степень их минерализации возросла до 14 г/л. Общая площадь засоления составляет

в России 20% сельскохозяйственных угодий, в том числе пашни — ~7% (Карамышев). На площади 22,9 млн га сельскохозяйственные угодья представлены солонцовыми комплексами, включая 9,9 млн га пашни. Вместе с тем даже слабое засоление почв резко снижает урожайность сельскохозяйственных структур, например хлопчатника и пшеницы — на 50-60, кукурузы — на 40-50%.

Значительная доля деградационных процессов в почвах связана с их *опустыниванием*, достигающим 1 млрд га на всех континентах и угрожающим еще 3,2 млрд га земель с числом жителей 700 млн. Оно приводит к потере экосистемой сплошного растительного покрова и невозможности его восстановления без участия человека. Этот процесс протекает главным образом в аридных районах под влиянием таких факторов, как сведение лесов, неумеренная эксплуатация пастбищ, нерациональное использование водных ресурсов при орошении и др.

Ежегодные потери вследствие опустынивания только орошаемых земель достигают 6 млн га, а в целом от него пострадало 40 млн га сельскохозяйственных угодий. Территории с наиболее высоким опустыниванием составляют в Азии около 19%, в Африке — 23, в Австралии — 45, в Южной Америке — 10% общей площади. Особенно значительны последствия опустынивания для стран Африки. В частности, пустыня Сахара продвигается на юг со скоростью 6 км/год. Из 200 тыс. га богарных земель осталось лишь 50 тыс. га, пригодных для сельскохозяйственных работ. Под угрозой опустынивания находится свыше 30% площади Мали.

Опустыниванию подвержен ряд территорий РФ, особенно в районах пастбищного животноводства. В Калмыкии оно охватывает 4,9 млн га, или свыше 83% площади республики. Из них 1,8 млн га находится в стадии очень сильной деградации. Ежегодный прирост пустынь Калмыкии оценивается в 40-50 тыс. га. В Астраханской области площадь нарушенных пастбищ составляет 1,3 млн га, из них 400 тыс. га приходится на подвижные пески. Половина пастбищ здесь занята сильно- и среднеразмываемыми землями. Опустыниванием охвачены земли Ростовской области (до 50% территории Сальских степей), Алтайского края (треть Кулундинских степей). Аналогичное положение наблюдается на пастбищах Бурятии и тундровой зоны. В последнем случае весьма резко сказываются такие факторы опустынивания, как перевыпас оленей, нарушение почвы при широкомасштабном освоении месторождений полезных ископаемых, неконтролируемый бездорожный проезд автотранспорта и др. За 1965-1990 гг. площадь оленьих пастбищ сократилась на 20,2 млн га.

В целом опустыниванию подвергаются земли 17 субъектов РФ. Общая территория этих земель достигает 50 млн га, в том числе неза-

крепленных песков — 6,5, сбитых пастбищ и сенокосов — соответственно 12 и 2 млн га.

Сокращение площадей продуктивных кормовых угодий наблюдается также вследствие зарастания их кустарником и мелколесьем. Соответствующие площади достигают 10 млн га, три четверти из них — пастбища. Более 2 млн га приходится на долю заочкаренных сенокосов и пастбищ.

Значительный вклад в деградацию почв вносит *нерациональное ведение сельскохозяйственных работ*. Оно обусловливается применением крупной тяжелой техники, ее использованием на повышенных скоростях, увеличением размера обрабатываемых полей, количества минеральных удобрений и пестицидов — химических средств защиты растений (кн. 1, разд. 13.4). В целом по России только загрязненная пестицидами почва при их весеннем обследовании обнаружена на 5,8% площадей. Загрязнение особенно заметно проявляется в Московской и Иркутской областях.

Нерациональное ведение сельскохозяйственных работ в существенной степени связано также с низкой агрохимической культурой. По агрохимическим показателям значительная доля пахотных земель России низкопродуктивна, особенно в Нечерноземье. В частности, свыше трети пашни представлено закисленными почвами, в том числе сильно- и среднекислыми (рН не более 5,0) — 13%. Рост этих площадей связан с применением физиологически кислых минеральных удобрений, несистематическим и некачественным известкованием почв. Если в 1976-1990 гг. известковали ежегодно 3,6-5,3 млн га, то в 1996 г. только 0,65 млн га.

Из промышленных факторов деградации почв весьма существенным является *разработка полезных ископаемых*.

Наибольший ущерб наносит их открытая добыча. Она связана с отчуждением значительных земельных площадей, которые в результате проведения горных работ становятся не пригодными для использования в народном хозяйстве. Так, для добычи 1 Мт железной руды требуется отчуждение 14-60 га, марганцевой руды — 76-600, угля — 2,6-43, нерудных материалов — 1,5-583 га. Общая площадь земель России, нарушенных при открытой добыче полезных ископаемых, а также занятых отходами последней, превысила 2 млн га. Из них 65% приходится на европейскую часть страны. В Кузбассе угольными карьерами отчуждено более 30 тыс., в районе Курской магнитной аномалии — свыше 25 тыс. га.

Карьеры, котлованы, отвалы пустой породы (терриконы) в районах открытой добычи угля и руд представляют собой ландшафт, практически лишенный жизни. Естественное возрождение в таких местах идет

замедленными темпами, надолго задерживаясь на стадии рудеральной растительности (крапива, лопух, белена и др.). Газовые выбросы из угольных и рудных пород часто ядовиты для растений и препятствуют формированию сколько-нибудь сложных растительных ассоциаций. В районах добычи полезных ископаемых открытым способом у населения фиксируется увеличение заболеваний раком легких, гипертонией, ишемией сердца, дыхательных путей и др.

В общей площади земель, нарушенных при открытой разработке, строительстве и геологоразведке, более 50% занимают сельскохозяйственные угодья.

Эрозия и, в более широком смысле, разрушение поверхности наблюдаются также при подземных горных работах. Каждый год шахты России выдают на поверхность около 18,5 млн м³ отвальных пород, под складирование которых отчуждается 500 га. Кроме того, 600 уже имеющихся породных терриконов занимают около 18 тыс. га земли. С учетом санитарных норм площадь прилегающих к терриконам отчужденных земель достигает 55 тыс. га.

Значительный ущерб наносят откачиваемые шахтные и карьерные воды, объем которых составляет 1,3 млрд м³/год. Они несут в себе более 7 млн т механических примесей и 1,3 млн т различных минеральных солей. Механической, химической и биологической очистке подвергается лишь 27-30% этих вод.

Наряду с твердыми и жидкими загрязнителями значительный ущерб флоре и фауне причиняют газовые выбросы шахт и рудников. Из дегазационных систем шахт в атмосферу выбрасывается более 600 млн м³/год метана. При самовозгорании шахтных терриконов отвальных пород (высота до 80-100 и более метров, объем до 2-4 млн м³) из них выделяются сернистые газы, оксиды углерода, продукты возгорания смолистых веществ. Их объемы ежедневно составляют 320-364 м³ с 1 м³ горячей породы (180 м³/год с 1 м² террикона).

Большую опасность представляют провалы и прогибы земной поверхности в местах подземной добычи полезных ископаемых. Так, в Люнебурге (Германия) за вторую половину 20 в. в результате карстовых оседаний и провалов приведено в полную негодность 169 жилых зданий. В Алабаме (США) вследствие обрушения кровли полости под фундаментными опорами произошло крушение автодорожного моста. В штате Флорида разрушен комплекс зданий при образовании гигантской карстовой воронки. Крупнейшие провалы с большим числом человеческих жертв наблюдались в районах Йоганнесбурга и Стилфонтейна (ЮАР). В России в 1992 г. произошла крупнейшая в Европе авария, вызванная карстовым провалом, когда обрушился промышленный корпус НПО «Держжинскхиммаш». В Донецком и Подмосков-

ном угольных бассейнах величина прогибов составляет несколько метров при глубине разработок 300-1000 м.

Отдельные карстовые воронки достигают 50-60 м в диаметре и 30 м в глубину.

Однако максимальную величину и скорость просадки земной поверхности наблюдают в районах добычи нефти и газа, при больших откачках подземных вод.

Так, в Лонг-Бич (Калифорния, США) в результате добычи нефти и газа город опустился на 8,8 м, а горизонтальное смещение составило 3,7 м (*Мазур...*).

При откачке подземных вод образуются обширные депрессионные воронки, например в районе г. Брянска (радиус более 150 км, понижение уровня свыше 80 м), Курской магнитной аномалии (60-115 км; 65-77 м), Москвы (площадь более 20 тыс. км², понижение уровня на 110 м) (Госдоклад «О состоянии защиты...», 2003г.).

Провалы и прогибы земной поверхности в настоящее время становятся обыденными не только для мест подземной добычи, но и для крупных городов с их разветвленной сетью подземных коммуникаций промышленных предприятий, коммунального хозяйства и транспорта. В частности, в черте Москвы известны десятки просадочных воронок диаметром до 40 и глубиной до 8 м. Просадочные участки составляют в городе до 15% территорий, приуроченных к погребенным долинам р. Москва и Яуза. Соответственно в Северо-Восточной части Токио за 1920-1980 г. уровень земной поверхности снизился на 4,5 м.

Понижение территории в совокупности с уменьшением инфильтрующей способности почв из-за масштабного асфальтирования приводит к подтоплению городов. В России в таком состоянии находится 800 тыс. га территорий 960 городов (из 1092), включая крупнейшие из них (*Мазур...*).

Инженерную защиту территорий от затопления и подтопления осуществляют в соответствии с требованиями СНиП 2.06.15-85.

За рубежом имеется успешный опыт борьбы с подтоплением города за счет устройства дренажного тоннеля сечением 25 м² (длина 230 м) с уклоном 0,2% и канала шириной 5 м при длине 450 м для спуска воды в реку. Уровень воды понизился на 5 м (*Drainage...*).

Возрастающую угрозу представляет *промышленное загрязнение почв*. Общая площадь сельскохозяйственных земель, загрязненных токсикантами, составляет 74 млн га, в том числе 60 млн га — за счет выбросов предприятий. По данным аэрокосмических съемок, ареалы распространения технологических выбросов непосредственно вокруг промышленных комплексов России охватывают территорию в 18 млн га, включая 0,7 млн га с чрезвычайно высоким уровнем загрязнения (Чер-

нобыль). Наибольший вклад в загрязнения вносят предприятия черной и цветной металлургии, химические и нефтехимические. В частности, площадь почвенного покрова, загрязненного цветными металлами и фтором, достигает 3,6 млн га, в том числе с высокой степенью загрязнения — 0,25 млн га. Самое значительное загрязнение в пятикилометровой зоне наблюдается вокруг городов Рудная Пристань Приморского края, Иркутск, Свирск, Черемхово, Нижнеудинск (все — Иркутская область), Верхняя Пышма Свердловской области.

В г. Чапаевске через 7 лет после прекращения деятельности химического комбината выявлено остаточное загрязнение почв диоксидами на площади в десятки квадратных километров. Оно в сотни раз превышает гигиенические нормативы.

Загрязнение ртутью с территорий комбинатов «Усольхимпром» и «Саянскимпром» (Иркутская область) превышает 3 тыс. т, а зона ее прямого воздействия — 45 км² (Морозов).

Десятикратные и большие значения ПДК свинца в почвах отмечены в Иркутске, Свирске, Рудной Пристаней, Черемхово, Каменск-Уральском Свердловской области. Такое же превышение ПДК по меди обнаружено в г. Ревде Свердловской области, Ижевске, Санкт-Петербурге, Рязани, Нижнем Новгороде, Кирове, Томске, Рудной Пристаней. Десятикратная величина ПДК сразу по трем компонентам (меди, никелю и кобальту) зафиксирована в г. Мончегорске Мурманской области.

Фтором загрязнены земли вокруг предприятий алюминиевой промышленности в г. Красноуральске Свердловской области, Братске, Новокузнецке, Волгограде, Красноярске. Концентрация фтора в этих районах больше фонового уровня в 4-10 раз, а содержание водорастворимого фтора в 10-30 раз превышает ПДК. По данным обследования территории вокруг Кандалакшского алюминиевого завода, содержание фтора в органогенном горизонте почвы больше фонового уровня в 3 раза на расстоянии до 20 км. И хотя различий в размерах бактериальной и грибковой биомассы не выявлено, однако отмечены изменения в таксонометрической структуре грибов и степени их доминирования по градиенту загрязнения.

Значительным фактором деградации почв являются предприятия нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслей. Зона их активного загрязнения составляет 1-3 км от предприятий при общем распространении загрязнителей, в том числе попадающих в сельскохозяйственные культуры, на расстояние не менее 20 км.

По суммарному показателю загрязнения почв в городе и в радиусе 5 км от него к чрезвычайно опасным относятся Мончегорск, Ревда и Белово Кемеровской области.

Особенно опасно загрязнение почв радионуклидами, достигающее на Европейской территории России 6 млн га, на Южном и Среднем Урале — 2 млн га.

Существенны масштабы загрязнения за рубежом. Так, в Германии насчитывается 50 тыс. участков загрязненной земли, в Нидерландах — 100 тыс., Дании — до 10 тыс. Площадь загрязнения в Великобритании равна 200 тыс га. Значительным источником загрязнения территорий тяжелыми металлами являются заводы по сжиганию отходов. При этом концентрация меди, свинца, цинка, кадмия спустя 10 лет после отбора проб изменяется незначительно.

Заметное разрушение окружающей среды вызывают места размещения промышленных и бытовых отходов: шламо- и хвостохранилища, свалки, включая санитарные, полигоны и т.п. Их общая площадь в России составляет 3 млн га.

Загрязнение почв нередко тормозит ход почвообразовательных процессов, резко снижает урожайность, вызывает накопление вредных веществ в растениях. Из последних они прямо или опосредствованно (через продукты питания) попадают в организм человека. Ослабляется также самоочищающая способность почв, что повышает опасность заболеваний, вызываемых болезнетворными бактериями. Например, в обычных условиях возбудители дизентерии, тифа и паратифа сохраняются 2-3 сут. В ослабленных загрязнителями почвах возбудители дизентерии опасны несколько месяцев, а тифа и паратифа — до полутора лет.

Определенный вклад в эрозию земель вносят *гидротехнические сооружения*, особенно крупные водохранилища. В России их насчитывается более 260 с суммарной площадью водного зеркала 15 млн га. В числе их самое большое по объему водохранилище Братское водохранилище (169 км³) и второе на планете по акватории Куйбышевское (5900 км²). Водоохранилища изменяют режим грунтовых вод, затопляют большие участки плодородных земель, приводят к вторичному засолению почв и т.д. Примерно 60-70% территории этих сооружений составляют затопленные земли.

С наличием гидротехнических сооружений (водохранилищ, плотин, каналов и др.) в значительной степени связана проблема *подтопления*, т.е. повышения уровня грунтовых вод. Этот процесс развивается на застроенных территориях и на участках, прилегающих к водохранилищам и орошаемым массивам. Общая территория подтопления в России достигает 9 млн га, в том числе застроенная — более 0,8 млн га. Подтопленные сельскохозяйственные угодья составляют 5,0 млн га, включая 1,6 млн га орошаемых земель.

Следует отметить аварийное состояние гидротехнических сооружений на 200 водохранилищах и 56 накопителях жидких промышленных отходов. Только за 1996-1998 гг. на гидротехнических сооружениях России произошло 400 аварий. Особенно масштабные последствия отмечены в Калмыкии, где из берегов вышло 150 водонакопителей.

Известны также проседания земель под крупными плотинами ГЭС и водохранилищами. Например, скорость оседания оснований плотин Братской и Усть-Илимской ГЭС превышает 10 мм/год. Большая часть Пермской области ежегодно оседает на 7 мм, что объясняется наличием чаши Камского водохранилища (площадь 1915 км², объем воды 12,2 км³).

Значительно антропогенное воздействие на морское побережье — пограничную полосу между сушей и морем. Общая протяженность береговой линии Мирового океана достигает 777 тыс. км, и, согласно оценкам ООН, в 2000 г. более 70% жителей планеты должно было сосредоточиться в прибрежной полосе шириной до 60 км. В настоящее время в ней находится более 10 портов с ежегодным грузооборотом свыше 10 млн т каждый. Среди них такие гиганты, как Роттердам и Иокогама (грузооборот превосходит 150 млн т), Нью-Йорк, Лондон, Марсель, Антверпен (50-100 млн т). Объем грузов, перевозимых морским транспортом, к концу 20 в. достиг 5 млрд т, что превышает аналогичные показатели железнодорожного транспорта.

Преобладающими причинами развития эрозии в прибрежной зоне, связанными с антропогенными нагрузками, являются добыча минерального сырья (песок, галька, коралловый материал для производства цемента и т.д.) и сокращение стока рек при строительстве плотин и водохранилищ. В частности, только за период 1940-1970 гг. с советского побережья Черного моря и из русел впадающих в него рек вывезено более 30 млн м³ песка и гальки. Данное обстоятельство преимущественно обусловило размывание берега со скоростью до 4 м/год со стороны г. Сочи. Для стабилизации процессов в береговой зоне здесь потребовалась периодическая искусственная отсыпка обломочного материала.

Все возрастающий ущерб наносят кислотные дожди — атмосферные осадки, имеющие рН менее 5,6. Своим возникновением они обязаны загрязнению атмосферы промышленными выбросами оксидов серы и азота, образующих с парами воды слабые растворы кислот. Воздействие кислотных дождей многообразно: погибают леса, сокращается количество видов гидробионтов, особенно высокоорганизованных, в озерах, наблюдается бурный рост белого мха, свидетельствующий о том, что водоем стал биологически мертвым. Весьма серьезна проблема кислотных дождей для Китая, где они загрязнили

2,8 млн км² территории, в том числе 2 млн га сельскохозяйственных угодий.

В плане развития эрозии отметим, что кислотные дожди приводят к закислению почв. В начальной стадии этого процесса значительно, в среднем на 20-30%, падает урожайность некоторых сельскохозяйственных культур (хлопчатник, томаты, виноград, цитрусовые и т.д.). При снижении рН до менее 5,0 вырождение плодородия начинает резко прогрессировать, а при рН ~3,0 почвы становятся практически потерянными для сельского хозяйства. Особенно восприимчивы к закислению подзолистые почвы таежной зоны.

Для борьбы с кислотными дождями обычно используются те же технические средства, что и для ограничения выбросов оксидов серы и азота в атмосферу.

Заметна деградация земель на территории базирования частей армии, авиации и флота, занимающих в нашей стране 13 млн га. Из территорий военных округов наиболее тревожно положение в Уральском (гарнизон Шадринск), Забайкальском (Степь, Безречный, Домна) и Дальневосточном (Анастасиевка). Необходима рекультивация почв в местах бывшей дислокации 29 шахтных пусковых установок, взорванных в соответствии с договором СНВ-1. Загрязнено побережье Северного Ледовитого океана — здесь разбросаны сотни тысяч пустых бочек из-под горючего, металлолом.

Наиболее часто в Вооруженных силах загрязнение земель нефтепродуктами. Очистке от них подлежит почти 55 тыс. га. Значительная часть нефтепродуктов просачивается в грунт из-за ветхости хранилищ и трубопроводов, при заправке авиационной техники. Под взлетными полосами некоторых аэродромов скопились «техногенные месторождения» основного авиационного топлива — керосина. Так, в подземной керосиновой линзе у г. Энгельса Саратовской области, расположенного на Волге, скопилось не менее 20 тыс. т топлива. В г. Ейске Краснодарского края на берегу Таганрогского залива аналогичная линза тянется к Азовскому морю.

Все более важной становится проблема хранения и утилизации ракетного топлива. Основным его компонентом служит гептил, вещество 1-го класса опасности, способное к накоплению и образованию аэрозолей. Площадь гептилового загрязнения только в Алтайском крае составляет более 50 тыс. км². Проблема усугубляется тем, что материальная база для транспортирования, хранения и отпуска компонентов ракетного топлива, созданная в основном в 1940-1960 гг., морально и физически устарела и уже не может обеспечить все ужесточающиеся требования экологической безопасности (Муравлев; Куценко; Сидоров...).

Для решения экологических проблем, связанных с деятельностью Вооруженных сил, в их составе созданы природоохранные войска.

Борьба с эрозией почв, вызванной антропогенным воздействием, — одна из основных задач природопользования. Осуществляется она с помощью ряда мер, среди которых главными являются почвозащитные мероприятия на землях сельскохозяйственного пользования и рекультивация.

5.3.2.2. Почвозащитные мероприятия на сельскохозяйственных землях

Система почвозащитных мероприятий базируется на совокупности агротехнических, агрохимических, агрофизических и специальных действий на основе проектов внутрихозяйственного землеустройства с противоэрозионной организацией территории.

Агротехнические приемы являются ведущими в комплексе почвозащитных мероприятий. К ним относятся создание почвозащитных севооборотов, поясное размещение культур, буферных полос, гребневых террас, промежуточных и совмещенных посевов, кулис, мульчирование, противоэрозионная обработка почв и т.д.

Группа агрохимических, агрофизических и специальных приемов играет существенную роль в предпосевной и послепосевной обработке почвы, при посеве на склонах.

Агрохимические приемы в первую очередь предусматривают, особенно на склоновых и эродированных землях, увеличение норм внесения всех видов органических, некоторых минеральных (азотных, фосфорных, калийных), а также бактериальных удобрений, мелиорирующих добавок и микроудобрений. Установлено, что эффективность использования всех этих веществ на смытых почвах выше, чем на несмытых.

Действенный агрохимический прием увеличения плодородия эродированных почв и защиты их от эрозии, особенно на смытых почвах, — возделывание на них культур на зеленое удобрение. В разных зонах России для этого используют однолетний и многолетний люпин, люцерну, клевер, кормовые бобы, горчицу белую, вику и др. Эффект достигается при запашке зеленой массы, когда повышается водопроницаемость и влагоемкость почв, усиливаются микробиологические процессы, улучшаются агрофизические свойства земель.

Агрофизические приемы ориентированы прежде всего на обработку почвы полимерами — структурообразователями типа полиакриламида и полимерных пен. Содержание водопрочных агрегатов увеличивается

таким образом в 5-6 раз. В состав пен могут включаться простые и сложные удобрения. Используют также химические препараты, создающие на поверхности почвы пленки, защищающие ее от сдувания. В этом качестве применяют битумные эмульсии, синтетические латексы, отходы нефтяной, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности.

Специальные приемы практикуют для задержания снега и регулирования снеготаяния. К ним в первую очередь относятся валкование и полосные прикатывание и зачернение снега; задержание его с помощью кулис, щитов и др. Задачи задержания и регулирования поверхностного стока талых и ливневых вод, снижения эрозии почв решают также мелиоративные мероприятия. Они предусматривают оптимизацию влажности земель путем их осушения и увлажнения (*гидромелиорация*), создание защитных лесных насаждений (*гидролесомелиорация*) и пр.

Определенную специфику имеют также мероприятия, препятствующие деградации степных пастбищ и способствующие их восстановлению. К ним относятся: ограничение и запрещение ранневесеннего выпаса скота за счет создания дополнительных запасов кормов; при предельных нагрузках исключение одновременного использования пастбищ различными видами скота; запрещение длительного выпаса на одном и том же месте; ускоренное восстановление травостоя за счет подсева трав, рыхления почв в сочетании с полным прекращением выпаса (на срок 1-2 года).

5.3.2.3. Рекультивация земель

Как уже отмечалось, широкомасштабное развитие добычи полезных ископаемых, ряда других областей народного хозяйства приводит к изъятию из сельскохозяйственного пользования и значительному уменьшению площадей плодородных земель. В связи с этим возникает проблема *рекультивации*, т.е. восстановления продуктивности нарушенных территорий. В общем случае она включает комплекс горных, мелиоративных, гидротехнических и сельскохозяйственных работ.

Первые попытки восстановления продуктивности и озеленения земель, нарушенных и загрязненных в процессе промышленного производства, были предприняты в конце 19 в. Однако широкие масштабы рекультивация приобрела в связи с внедрением открытого способа добычи полезных ископаемых. Во многих странах она рассматривается как комплексная междисциплинарная проблема реконструкции ландшафта и восстановления продуктивности нарушенных земель, их экологической сбалансированности, хозяйственной и эстетической ценно-

сти. Рекультивация стала одной из важнейших задач в проблеме сохранения природных ресурсов.

В экономически развитых странах доля рекультивируемых земель достигает 70-80% от нарушенных. В них она получила наибольшее распространение при добыче угля, строительных материалов, горнохимического сырья, цветных металлов, обогащении и переработке полезных ископаемых, прокладке нефте- и газопроводов, транспортных артерий. В нашей стране основные положения процесса восстановления продуктивности нарушенных территорий сформулированы в ГОСТе 17.5.3.04-83 «Охрана природы Земли. Общие требования к рекультивации земель».

Различают два этапа рекультивации: технический и биологический. *Техническая рекультивация* предполагает подготовку земель для последующего целевого использования и включает планировку, формирование откосов, снятие, транспортирование и нанесение почвенного слоя. *Биологическая рекультивация* предусматривает восстановление плодородия технически рекультивированных земель и состоит из комплекса агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на возобновление биоты. Общие требования к обоим типам: тщательное разравнивание поверхности нарушенных земель; нанесение плодородных и потенциально плодородных пород (гумусированных почвенных слоев, лессов и лессовидных суглинков) мощностью до 1,0 м; регулирование водного режима и баланса питательных веществ с применением глубокой обработки поверхностного слоя, внесением минеральных и органических удобрений; правильный подбор культур и мелиоративных севооборотов в сочетании с различными агротехническими приемами.

Работа по технической рекультивации требует наибольших затрат. Ее эффективность значительно увеличивается при включении в качестве обязательного этапа в технологический процесс предприятия. Обычно полагают, что на этой стадии предприятия должны снять с отведенных под обработку участков плодородный слой для дальнейшего его использования в восстановительных мероприятиях. Выемка плодородного слоя должна опережать вскрышные работы не менее чем на 1 год. Его высота определяется содержанием гумуса, которое рекомендуется не ниже чем 1-2%. Гумусированный слой хранят сроком до 20 лет в буртах или штабелях высотой 10-15 м. Для предохранения от эрозии штабели подвергают планировке и засевают травой.

Биологическая рекультивация проводится по двум вариантам: с нанесением гумусированного поверхностного слоя на тщательно спланированную поверхность земель; без нанесения почвенного слоя. В последнем случае предусматривается создание сельскохозяйственных угодий непосредственно на вскрышных породах, относимых к группе потенциально плодородных.

Наиболее распространен первый вариант, используемый для восстановления земель под пашню. В этом случае на спланированную поверхность нарушенной территории наносят гумусированный почвенный слой мощностью 30-50 см. Лучшими подстилающими породами являются лессы и лессовидные суглинки. В первые годы освоения обычно выращивают многолетние бобовые травы (люцерну, донник, люпин, красный клевер и т.д.). Они дают высокий урожай и способствуют относительно быстрому восстановлению плодородия почвы. После трав выращивают зерновые и кормовые культуры, наиболее продуктивные в данной местности. Достижимые при этом урожаи близки к собираемым на старопахотных землях или превышают их, особенно при мощных насыпных слоях (до 80-90 см).

Одной из важных задач биологической рекультивации является восстановление структуры, физических, агрохимических, физико-химических и других свойств нанесенной почвы, ее гомогенности. Последнюю создают, применяя орудия роторного типа (плуги, фрезы, комбинированные), глубокую обработку земли с последующим дискованием и культивацией. В некоторых странах после дискования и культивации мульчируют поверхностный слой соломой, корой, золой, хворостом. Также благоприятно влияет на восстановление свойств почвы орошение.

В последние годы разработаны составы наносимых потенциально плодородных и плодородных пород, в том числе с использованием отходов производства. В частности, предложена смесь для рекультивации шламохранилищ, включающая компоненты в следующем массовом соотношении, частей: шлам-осадок очистки бытовых и промышленных стоков — 15-20; мелкозернистый наполнитель и алюмосиликатная порода — по 10-30 (Кнатко...).

Существенное значение имеют разработка и внедрение технологий ускоренного образования природного слоя на рекультивируемых землях, базирующиеся на использовании микроорганизмов. Одна из них внедрена на гидроотвале «Балка Чуфичева» площадью 420 га Лебединского ГОКа. Здесь из поверхностного слоя были отобраны пробы пород, из которых выделили несколько видов микроорганизмов, необходимых для почвообразования и жизни растений и одновременно способных существовать в неблагоприятных условиях. Эти микроорганизмы размножили, затем комплексный бактериальный препарат внесли в поверхностный слой рекультивированных территорий.

Аналогичные механизмы внедрены на Невьянском золотодобывающем прииске (1993 г.) и на Первоуральском железорудном карьере (1994 г.). В Невьянске таким образом был рекультивирован участок на дамбе гидроотвала, сложенный из глины и суглинков. Выяснилось,

что уже на второй год количество сапрофитовой флоры возросло в 200 раз, азотобактерий и фосфатрастворяющих бактерий — соответственно в 18 и 2600 раз. Увеличилось также количество видов бактерий, рН почвы возрос с 5,2 до 6,6. Из закисленной она превратилась в нейтральную, гораздо более благоприятную для развития жизни. Высаженные на ней растения дали дружные всходы, намечился обильный выход видов за пределы опытных делянок. Высота травостоя на них достигла 70-90 см, а на контрольных участках — 50-60 см. Наилучшие показатели получены с овсяницей луговой, клевером ползучим и травосмесью.

Мощный фактор повышения плодородия восстанавливаемых земель с нанесением почвенного слоя — использование удобрений, особенно в первые годы освоения. Их дозы, а также нормы высева семян увеличиваются при этом на 30-50% против обычных.

В остальном возделывание сельскохозяйственных культур на восстанавливаемых территориях существенно не отличается от принятого на старопашотных участках, однако большее внимание уделяется обработке почвы в начальный период освоения (на техническом этапе рекультивации она сильно уплотняется).

Объекты рекультивации с нанесением почвенного слоя достаточно многочисленны и в качестве основных включают в себя торфяники, внутренние отвалы, отсыпаемые в отработанное пространство карьеров при открытой добыче полезных ископаемых, а также шламохранилища обогатительных фабрик, золоотвалы электростанций и т.п.

Торфяники являются первоочередными объектами рекультивации, составляя около половины всех восстанавливаемых земель. Обычно используют отработанные участки фрезерной добычи торфа. Их рекультивируют под пахотные и сенокосно-пастбищные угодья, коллективные сады. При проведении необходимых агротехнических и мелиоративных мероприятий, внесении извести для раскисления почвы и удобрений за несколько лет на рекультивированных территориях бывших торфяников добиваются хороших урожаев различных культур (зерновых, овощей, картофеля, многолетних трав и т.п.).

Другие категории нарушенных земель по химическому составу и физическим свойствам менее пригодны для вовлечения в хозяйственную деятельность. Это становится возможным лишь при проведении всего комплекса восстановительных мероприятий. В частности, для улучшения агрономических свойств применяют посев и заправку сидеральных культур с одновременным внесением торфа, минеральных и органических удобрений, выращивание многолетних бобовых трав.

Один из наиболее трудных объектов рекультивации — отвалы, сложенные породами с резко выраженными фитотоксическим действи-

ем, в частности сульфид- и углесодержащие. При наличии таких пород перед нанесением на них почвенного слоя применяют экранирование поверхности карбонатными материалами. Достаточная толщина экрана равна ~20 см, но общая высота корнеобитаемого пространства должна составлять не менее 80 см. На шахтных отвалах во многих случаях работа начинается с покрытия токсичной породы «замковым» слоем глинистого состава, отсекающим зону корневой системы растений от контакта с фитофобным материалом. Далее поверх замкового слоя создается почвенный горизонт.

Шламохранилища обогатительных фабрик и золоотвалы ТЭС являются одним из наиболее опасных источников загрязнения окружающей среды. Однако для них также разработаны приемы биологической рекультивации.

Шламохранилища обогатительных фабрик (площадь 60 тыс. га) подразделяют на фитотоксичные и нетоксичные. Их вовлекают в оборот в основном как сенокосные угодья. Фитотоксичные шламы рекомендуются закрывать экраном из песка или гравия, других нейтральных пород (высота 0,4 м) и наносить на него потенциально плодородные материалы мощностью 0,5-0,8 м. На нетоксичных шламохранилищах обычно ограничиваются покрытием из потенциально плодородной породы.

На рекультивированных золоотвалах выращивают полевые и кормовые культуры, создают сенокосы. В первом случае восстанавливаемую поверхность покрывают потенциально плодородной породой слоем 0,4-0,5 м с последующим нанесением 0,2 м плодородной почвы торфа или ила очистных сооружений. При организации сенокосов поверхность золоотвала покрывают слоем в 20 см потенциально плодородной почвы с внесением полных минеральных удобрений или ограничиваются только последними. Наиболее пригодны для сенокосов различные виды донников, люцерн, овсяниц и др. Если цель рекультивации заключается только в стабилизации золоотвалов, то в этом случае практикуют выращивание на них деревьев и кустарников, внося в посадочные ямы плодородную почву или минеральные и органические удобрения. Для посадок рекомендуются береза, клен, осина, ива. На предназначенных для консервации золоотвалах их поверхность закрывают слоем почвы, торфа или потенциально плодородной породы высотой 2-3 см.

Значительные площади нарушаются при прокладке линейных сооружений, в основном трубопроводов различного назначения. По окончании их строительства обязательное восстановление земель включает укладку на реконструированную поверхность ранее снятого по фронту работ плодородного почвенного слоя.

Снятие плодородного слоя предусматривается также при строительстве нефтяных и газовых скважин. Кроме того, с целью исключить загрязнение почвы нефтью создают замкнутые системы очистки буровых сточных вод. После окончания буровых работ снятый слой используют в процессе рекультивации. Самостоятельная проблема — создание эффективных методов восстановления почв, загрязненных нефтепродуктами (разд. 5.3.2.4).

Существенным источником выбросов в окружающую среду служат терриконы угольных шахт. В данном случае технология подготовки и рекультивации включает тушение и переформирование терриконов с последующим их озеленением. Для этого пригоден ряд деревьев и кустарников: клен, абрикос, акация, смородина, шиповник и т.д. Наиболее крутые склоны засевают дикорастущими травами, например синяком обыкновенным, донником желтым.

Рекультивация терриконов — пример восстановления земель без нанесения почвенного слоя. И хотя этот вариант получил меньшее распространение, он может быть успешным и в ряде других случаев.

Одним из них является создание сельскохозяйственных угодий, включая пашни, на спланированных территориях. Для этого наиболее пригодны лессы и лессовидные породы. В первые годы на них возделывают многолетние бобовые травы, а затем с применением азотно-, фосфорно-, калиевого удобрения выращивают зерновые культуры, картофель, овощи, фрукты, виноград. Получаемые урожаи находятся на уровне зональных и более высоких. Такая технология применена на месторождениях марганца в Днепропетровской области, угля — в Кировградской, огнеупорных глин — в Донецкой (все — Украина), фосфоритов — в Подмосковье.

Отвалы, сложенные потенциально плодородными породами, часто без нанесения гумусированного почвенного слоя отводят под сенокосы и пастбища. Урожай бобовых и злаковых травяных смесей в этом случае обычно выше, чем среднезональные. Такая технология перспективна, в частности, для дражных отвалов россыпных месторождений в долинах рек Сибири и Урала.

Таким образом, основные направления использования восстановленных земель — сельскохозяйственное и лесохозяйственное. Преимущественное развитие того или иного из них зависит от типа нарушенных земель, природных условий, экономической целесообразности и ожидаемого социального эффекта. Однако при прочих равных условиях приоритет имеет сельскохозяйственное применение, в первую очередь создание пашни, поскольку в данном качестве полнее реализуется ценность земли как средства производства. Это направление получило широкое распространение в нашей стране и в других европейских странах. Так, в

СССР к 1989 г. было восстановлено 1712 тыс. га. Из них под пашню отведено 464 тыс. га, под другие сельскохозяйственные угодья — 555 тыс. га, остальное составили лесонасаждения, водоемы и т.п.

Лесохозяйственная рекультивация приоритетна на отвалах с почвенно-грунтовыми условиями, неблагоприятными для выращивания сельскохозяйственных культур, или требующих существенных затрат на почвозащитные, водоохранные и природоохранные мероприятия. В различных зонах и на других типах месторождений в настоящее время установлена приемлемость вскрышных и вмещающих отвальных пород для выращивания древесно-кустарниковых насаждений определенного ассортимента. Выявлены также оптимальные параметры посадочного материала, схемы посадки, приемы выращивания лесонасаждений на отвалах различного типа.

Так, в Кузбассе большинство земель, нарушенных при открытой и подземной добыче угля, признано пригодными для лесохозяйственной рекультивации. На ее долю приходится 80% всех восстановленных площадей. Приживаемость и рост лесопосадок аналогичны показателям для ненарушенных земель. В посадках из деревьев обычно используют лиственницу, сосну, березу, из кустарников — облепиху, акацию желтую, иву, жимолость.

В степных районах создают лесопарки вокруг промышленных центров и защитные насаждения на сельскохозяйственных угодьях, в лесостепи — промышленные посадки для получения деловой древесины. Широко внедряется посев в междурядьях бобовых культур, главным образом люпина, чередование основных пород деревьев (сосна, береза, вяз) с азотфиксирующими видами (ольха, акация, облепиха). В целом доказана возможность выращивания на отвалах более 40 видов древесных и кустарниковых растений. При их формировании практикуется создание лесопригодного слоя мощностью не менее 1 м. На спланированных относительно горизонтальных участках применяются механизированные посадки и уход, на крутых склонах — ручные работы.

Наряду с сельскохозяйственным и лесохозяйственным в ряде случаев эффективны другие виды использования восстановленных земель:

- водохозяйственное* — сооружение различных водоемов для хозяйственных, питьевых, коммунально-бытовых нужд;

- рыбохозяйственное* — создание на базе карьеров водоемов для разведения рыб;

- рекреационное и охотничье* — устройство баз отдыха и спорта, парков, зеленых и туристических зон, архитектурно-ландшафтных комплексов и т.д.;

природоохранное и санитарно-гигиеническое — противоэрозионные лесонасаждения, сооружение водоемов для животных подводного мира и пернатых;

строительное — во всех его видах.

Примером последнего является рекультивация иловых площадок станций аэрации по очистке сточных вод в г. Москве и Московской области (Храменков....; Рекультивация...). В частности, на территории бывших Люблинских полей фильтрации внедрен природоохранный комплекс в Марьином парке г. Москвы. При этом рекультивировано 800 га, расположенных в черте города, переработано 15 млн м³ осадков сточных вод. На освобожденной территории возведен благоустроенный жилой комплекс на 300 тыс. человек (площадь более 6 млн м²), в том числе 35 школ, 13 поликлиник, 9 спортивных сооружений.

Резюмируя, можно констатировать, что в большинстве случаев возможно эффективное восстановление нарушенных земель и быстрое их возвращение в народнохозяйственное, в частности сельскохозяйственное, пользование — при условии научно обоснованного подбора и чередования культур, рациональной агротехники и создания высококультурного почвенного слоя.

Отдельной, до конца не решенной проблемой является очистка загрязненных техногенными выбросами почв. Работы в этом направлении, рассматриваемые ниже, начаты относительно недавно.

5.3.2.4. Очистка загрязненных почв

Проблема относится к числу наиболее актуальных в связи с общим ухудшением среды обитания человека и непосредственно — селитебных территорий. В зависимости от масштаба и характера загрязнения возможны два основных направления санации почв: удаление верхнего слоя грунта на свалку или для переработки на специальных установках; разрушение вредных веществ различными способами непосредственно на месте. Отметим, что известные методы иммобилизации загрязнений в почве, например цементирование отдельных участков, их обвалование и др., часто рассматриваемые как способы очистки территорий, ими не являются, так как не обеспечивают удаления вредных веществ.

Способы очистки почв от загрязнений можно разделить на физические, химические, физико-химические и биохимические.

Физические методы предусматривают удаление верхнего слоя грунта с загрязненных территорий на свалку или в специально отведенные места. К ним же следует отнести все варианты промывки почвы с растворением загрязнителей в промывающей жидкости (воде).

Химические методы включают термические способы, процессы выщелачивания, связывания загрязнителей в различные соединения, электрохимические и т.д.

Термические способы используют для удаления органических веществ и некоторых цветных металлов, химической стабилизации грунтов. Их реализуют в различных вариантах: нагрев на воздухе, в вакууме, пиролиз и др.

Нагревание на воздухе применяют для земель, загрязненных нефтью, маслами, бензином, галогеносодержащими и другими органическими соединениями. Термообработка обычно заключается в выдержке материала при 400-800°C с выгоранием углеводов. Физико-химические свойства почвы при этом изменяются незначительно. Биологическую активность термически обработанных почв восстанавливают, добавляя при необходимости компост и другие минеральные вещества.

Так, для очистки нефтезагрязненных грунтов ООО «Лукойл-Пермнефть» на Осинском нефтешламовом амбаре применил метод *термической десорбции* при 200°C с использованием отечественного оборудования. Был получен гидрофобный гранулированный материал (размер частиц 10-20 мм) с содержанием нелетучих и нерастворимых в воде веществ не более 5-6%. Он пригоден для приготовления битумогрунтов, соответствующих ГОСТу 30491-97 и используемых в дорожном строительстве (Сергеев...).

Термообработку на воздухе применяют также к загрязненным грунтам, предназначенным к использованию при производстве смешанных цементов и растворов (Cement...). В этом случае к загрязненному грунту добавляют 25-35% извести, оксидов железа и алюминия, плавней. Смесь расплавляют при 1300-1350°C, через расплав продувают воздух для полного разложения органики. При выпуске из печи расплав подвергается водной грануляции с образованием волокон размером 5-40 мкм. Их смешивают с портландцементом в количестве 10-70% от его массы. Полученное вяжущее по прочности на сжатие близко к цементам общестроительного назначения. Предложенная технология утилизации загрязненного грунта в 1,2-8 раз дешевле, чем захоронение отходов.

Нагревание на воздухе положено в основу процесса MRS удаления ртути из почв и отходов, разработанного фирмой Mercury Recovery Services (США). В этом процессе загрязненный материал дробят, смешивают с оксидами или пероксидами щелочных металлов и подвергают двухстадийному нагреву: вначале при ~100°C для удаления воды и летучих веществ, затем при 540-560°C для испарения ртути с последующей ее конденсацией в виде чистого металла. Выбрасываемые

газы подвергают очистке. Метод позволяет снизить содержание ртути в материале с 15000 до менее чем 1 млн^{-1} (Two-stage...).

В настоящее время стационарные и передвижные установки для термообработки почв на воздухе очищают миллионы тонн загрязненных земель. В частности, общая годовая производительность установок только фирмы Nord (Германия) составляет 300 тыс. т при их единичной мощности 50-80 тыс. т. Емкость хранилищ равна суммарной годовой производительности установок (Massive...).

Вакуумно-термический метод санации почвы реализован в США в варианте передвижной установки. Загрязненный органическими соединениями грунт загружают в вакуумный барабан типа бетоносмесителя, установленный на шасси автомобиля. Длина барабана 4,5 м, диаметр 2,4 м, частота вращения 10-18 мин^{-1} . При нагревании летучие органические соединения испаряются и далее ожижаются в конденсаторе, размещенном на прицепе автомобиля. Конденсат после очистки на фильтре пригоден к использованию по целевому назначению. Продолжительность цикла обработки одной загрузки грунта составляет 45 мин (Crosby).

Пиролиз как технологию очистки почв от ртути и других металлов в 90-е годы разработали в Германии. С 1992 г. здесь эксплуатируется установка по очистке 40 тыс. т/год почвы. Исходный грунт дезинтегрируют до крупности 20 мм, затем подвергают его магнитной обработке для удаления черных металлов и сушат до влажности 5%. Собственно пиролиз, т.е. термообработку без доступа воздуха, проводят при 600°C в барабанной печи. Здесь в газовую фазу возгоняются летучие соединения ртути, мышьяка и других металлов. Газы далее нагревают в окислительной среде при 1200°C , затем их обеспыливают, адсорбируя соединения-загрязнители. Грунт после охлаждения увлажняют и используют как рекультивируемый материал (Riese; Courtois).

Термические способы реализуются не только на специальных установках, к которым доставляют подлежащую очистке почву, но и могут осуществляться непосредственно на месте. Один из таких методов предусматривает *остекловывание почвы*. В последнюю вводят электроды и, пропуская ток, нагревают ее до высоких температур (2160°C). Грунт при этом расплавляется, органика пиролизруется, образующиеся газы поступают на очистку. Последующее охлаждение почвы приводит к ее остекловыванию и связыванию в устойчивые от вымывания формы таких загрязнителей, как, например, радионуклиды и тяжелые металлы (In situ...).

Выщелачивание как химический метод очистки почв заключается в обработке грунта 2%-м раствором соляной кислоты при pH, равном 2, в течение 10 мин. Содержание таких загрязнителей, как мышьяк, кадмий, медь, никель, цинк и свинец снижается при этом на 86-98% (Acid...).

Перспективный способ химической очистки почв разработан российской фирмой Special Biological Technology Corp (SBTC). Для очистки в нем используется органо-неорганическое комплексное соединение стабилит (stabilite) — суспензия из ~93% гуминовых кислот и неорганической смеси, содержащей оксиды алюминия, железа, кремния. Исходным сырьем для производства стабилита является лигнит — разновидность молотого бурого угля, содержащая 65-71% углерода и имеющая хорошо сохранившуюся структуру. При обработке почвы и воды стабилит служит комплексообразователем для ионов тяжелых металлов, в том числе радионуклидов. Положительные результаты его применения получены в полевых испытаниях в районе Серпухова на территории химического комбината, загрязненного полихлорированными дифенилами. После вспашки и обработки реагентом опытных участков почвы содержание загрязнителей в них за два года уменьшилась в 20 раз. Для производства и сбыта стабилита в США организовано совместное предприятие с участием SBTC и четырех американских фирм (North...).

Фирма Kobe Steel (Япония) разработала *гидротермический (автоклавный)* процесс обработки загрязненной почвы с иммобилизацией тяжелых металлов (шестивалентный хром, свинец, ртуть, кадмий, мышьяк). Технология заключается в смешении отходов с известью или цементом, гранулировании смеси, упрочнении гранул в автоклаве при 180-200°C и давлении пара 10-15 бар. Затем гранулы измельчают до крупности песка или формируют из них строительные блоки (Metals...).

Сущность *электрохимического метода* заключается в подаче в грунт на первой стадии очистки жидких реагентов, переводящих загрязнители в подвижную ионную форму. Затем в грунт помещают электроды и пропускают через них постоянный электрический ток. Под его воздействием загрязнители, в зависимости от знака зарядов их ионов, разряжаются на аноде или катоде. Метод с начала 80-х годов 20 в. спользовался в практике электроразведки нашей страны.

В странах ЕС как технология очистки загрязненных почв метод стал использоваться позднее (запатентован в Германии в 1992 г.), получив известность в качестве способа «Elektroremediation». Начато его практическое освоение. В частности, французская фирма EdF в конце прошлого века провела пробную очистку почв, загрязненных ПАУ, при их концентрациях 0,6 и 0,2%. Через 80 суток они снизились до 0,05 и 0,01% (Деактивация...).

Другая разновидность электрохимического способа — *биоэлектрическая очистка* грунтов от нефтепродуктов. Оборудование для очистки грунта (объем до 1000 м³) включает источник постоянного тока мощностью 30-40 кВА, водяной насос, компрессор для закачки воздуха в почву, масляный сепаратор, стальные водопроводные и перфорирован-

ные дренажные трубы. Технология применена для очистки территории бывшей автозаправочной станции в г. Хювинка (Финляндия) в 2000-2001 гг. Исходная загрязненность грунта составляла по дизтопливу до 10 г/кг почвы, по бензолу до 9 г/кг. Был сформирован штабель объемом около 600 м³ и высотой 4 м. Менее чем за 2 месяца содержание нефтепродуктов в грунте снизилось примерно в 70 раз (Ивлиев...).

Физико-химические методы включают экстракцию, фотоллиз и флотацию.

В методах *экстракции* в качестве экстрагента чаще всего применяют пропан и водяной пар.

При использовании пропана для санирования почвы, загрязненной маслами, газ под давлением более 5 МПа поступает в реактор с температурой свыше 100°C, загруженный почвой. В реакторе частицы масла переходят в газовую фазу и вместе с ней поступают в сепаратор с нормальными температурой и давлением, где конденсируются. Очищенная от масел газовая фаза после сепаратора компримируется и вновь поступает в процесс (Method...). По схеме экстракции пропаном освоена также установка в США производительностью 25 т/сут по нефтяным шламам, содержащим 25% твердого (Mc Govern).

Установка с экстракцией органических соединений паром при 100-250°C внедрена в ФРГ для санирования старых отвалов (Hudel...).

Фотоллиз, т.е. разложение веществ под действием света, использован для очистки почв от хлорпроизводных бензола в условиях их полива и добавления осадка переработки сточных вод. Если в естественных условиях извлечение хлорпроизводных на 50% достигается за 13-622 сут, то при фотоллизе необходимый срок сокращается до 11-181 суток (Wang...).

Флотация успешно применена для восстановления качества земли, пострадавшей при пожаре большого оптового склада-хранилища пестицидов в Швейцарии. После пожара участок оказался загрязненным различными химическими соединениями, в том числе органотутными. Селективной экскавацией было снято 14200 т загрязненной почвы, которую отправили на специально построенный завод по ее обогащению. Технология очистки грунта включала его грохочение и измельчение с последующей флотацией, при которой было извлечено 95% загрязнителей. Очищенную почву возвратили на прежнее место. Загрязненную фракцию обработали известью, затем загрузили в контейнеры и разместили в подземных захоронениях ФРГ (Bunge...).

Биохимические методы очистки почв становятся все более популярными в Европе и США. В Германии свыше 50 компаний, а в США еще большее их число предлагают такие услуги (Рис...). Эти методы в

настоящее время включают применение бактерий, часто в сочетании с вентиляцией почвы воздухом или кислородом (биовентиляция), фиторемедиацию, грибковые технологии, использование ила и др.

Биовентиляция успешно используют за рубежом для удаления из почв нефти и нефтепродуктов (Vulman...; Удаление...). Так, в Австралии выполнены работы по очистке грунта на участке площадью около 1,5 тыс. м², загрязненном дизельным топливом на глубину 1,5-3,5 м (в почву попало до 50 тыс. л топлива, содержание его в земле достигало 1,5%). Для ускорения естественного процесса биоразложения загрязнителя была организована кислородная биовентиляция почвы. За 6 месяцев общее содержание мазута на глубине до 3 м уменьшилось на 10-30%. Дальнейшая биовентиляция с дополнительным введением в грунт необходимых для микроорганизмов питательных веществ привела к уменьшению содержания топлива по всей глубине загрязнения еще на 30%.

Канадская фирма «Petro-Canada» восстановила более 140 тыс. т почвы, загрязненной нефтепродуктами бывшего нефтеочистительного завода. В течение 125 сут. ее аэрировали, вводили в нее микроорганизмы, использовали ПАВ и питательные вещества. Степень удаления нефтеостатков составила 99%, конечная концентрация углеводов в почве соответствовала нормальным требованиям, в биологическом отношении земля была восстановлена (Lanoe).

Процесс биовентиляции можно интенсифицировать, подавая в почву пульпу, при контакте с землей выделяющую кислород. Способ, предложенный американской фирмой Regensis Bioremediation Product, реализуют, подавая под давлением 25-70 атм пульпу, содержащую 3-10% кислородовыделяющего вещества, в почвы любого типа. Время биорекультивации сокращается на ~50% (A slurry...).

Фиторемедиация, или очистка почв с помощью растений, запатентована в США (Phytoremediation...). Выявлено, что растения семейства Brassicaceae способны адсорбировать металлы в корневой системе и затем переводить их в стебельную часть, извлекая таким образом загрязнители из почвы. Наземная часть растений убирается обычными способами.

Грибковые технологии предусматривают заселение загрязненных почв различными грибковыми культурами. Разработанные способы пригодны для разрушения трудноразлагаемых токсичных веществ, в том числе ПАУ типа полихлорированных дифенилов. Очистка продолжается даже в условиях суровой зимы, концентрация загрязнений снижается с нескольких сотен млн⁻¹ до ~10 млн⁻¹ (Fungal...).

Микробиологические методы позволили очистить и привести в состояние, пригодное для дальнейшего использования, загрязненные неф-

тью подфакельные площадки, аварийно-технические амбары и другие объекты на некоторых нефтепромыслах России. Очистку и восстановление почв проводили после предварительной откачки нефтесодержащих жидкостей из грунта и его пропарки. Пропаривание позволило снизить содержание нефти до значений, при которых возможно проведение микробиологических работ без предварительного разбавления нефтезагрязненного грунта чистым, т.е. до 8-12% (Сергеев...).

В ряде случаев при санировании земель используют комбинации рассмотренных выше способов. В частности, процесс, разработанный в США, предусматривает восстановление почвы, загрязненной ПХБ, с помощью комбинации физического и биохимического методов (Lajoie...). Способ реализуется на месте и осуществляется в несколько стадий. Вначале в почву вносят ПАВ, растворяющее ПХБ (физический метод). Промывочная жидкость, содержащая ПАВ и ПХБ, подается в биореактор с инертным субстратом. Концентрация ПАВ при этом доводится до близкой к мицеллярной. Далее в биореактор вносятся микробный штамм. Используя поверхностно-активное вещество как источник энергии, штамм одновременно разлагает ПХБ до хлорбензойной кислоты и более простых соединений. При израсходовании питательной среды микроорганизмы отмирают, а остатки ПХБ аккумулируются на инертном субстрате. Затем, заменив отработанный субстрат свежим, цикл биообработки повторяют.

Комплексная технология восстановления плодородия почв, загрязненных высокоминерализованными пластовыми водами, освоена в нашей стране. Она апробирована на площади более 500 га и успешно прошла экологическую экспертизу.

Рассматриваемая технология включает различные методы мелиорации: *физические*: дизельное рыхление (тяжелым культиватором на глубину), сдвигка загрязненного слоя (до 30 см), перемешивание его с «составом» (смесь адсорбентов, органики и химмелиорантов), пропашка открывшегося дна и др.; *химические* (связывание солей и пр.); *гидротехнические* (нарезка кротовин, улучшающих водопроницаемость почвы; планировочные работы и т.д.); *биологические* (активация биоты почвы, увеличение ее общей биогенности, посев фитомелиоративных культур и т.п.). Глубина загрязненного слоя может составлять 180-200 см и более.

В начале обработки почвы содержание в ней ионов хлора в 107 раз, а натрия в 100 раз превышало показатели фоновых участков. Через 4 года концентрация хлора снизилась на 70%, натрия — на 30. Через 9 лет (2004 г.) содержание хлора упало в 36, натрия в 20, сульфатов в 3 раза. При этом рекультивируемые почвы еще оставались загрязненными по этим компонентам. Однако общая биогенность

рекультивируемых почв уже в 4 раза превышала фоновую, что указывало на отсутствие в ней угнетающих факторов.

На восстановленных землях были высажены донник, мальва, амарант, кукуруза. Их продуктивность не уступала фоновым, качество полученной зеленой массы соответствовало требованиям ГОСТ 27978-88. Это позволило использовать ее как зеленый корм, а также для приготовления других видов кормов (Бурлака...).

Помимо биохимической обработки почв на месте, в ряде стран (Германия, Нидерланды, Дания и др.) расширяется предложение услуг по очистке почв с вывозом и переработкой их на специальных заводах (Рис...).

Стоимость очистки почв различными методами составляет, ф. ст./т:
удаление грунта на действующую свалку или в специально отведенное место — соответственно 25-100 и 15-20;

сжигание грунта за пределами участка — 25-100 (сжигание на участке на 30% дешевле);

экстракция нефтепродуктов паром — 20-50, растворителем — 35-100;

биотехнологии — 5-40, в том числе использование современных биореакторов — 50-75;

химическая обработка грунта (стабилизация и отверждение на месте) — 10-30 (Антонова...).

Влияние энергетических полей и продуктов радиоактивного распада

В главах 3-5 рассмотрены вопросы защиты окружающей среды от техногенного воздействия веществ (газообразных, жидких и твердых). Однако наряду с вещественным на окружающую среду оказывается энергетическое воздействие, также носящее материальный характер (разд. 2.6.1). Являясь общей мерой различных видов движения и взаимодействия, *энергия* существует в различных формах: механической, электромагнитной, ядерной и др. Эти формы присутствуют в окружающей среде в виде различных колебаний и волн.

6.1. Механические колебания и волны

6.1.1. Общие представления

Колебательные движения, или колебания, широко распространены в природе и технике. Наиболее характерным признаком колебательного движения является его повторяемость или почти повторяемость. Так, маятник, проделав путь от крайнего левого до крайнего правого положения и обратно, вновь совершит то же движение. Если оно повторяется точно, то его называют *периодическим*. Следовательно, *колебания* — это движение, которое точно или приблизительно повторяется через определенные промежутки времени.

Одними из наиболее распространенных видов колебаний являются *механические*. Они заключаются в периодическом изменении координат тела и скорости его перемещения. С понятием «колебание» тесно связано другое — «волна».

Отдельные частицы любого твердого, жидкого или газообразного тела взаимодействуют друг с другом. Поэтому если какая-нибудь часть тела начинает совершать колебательные движения, то, благодаря взаимодействию между частицами, это движение с некоторой скоростью распространится во все стороны. Колебания, *распространяющиеся в пространстве*, называют *волной*. Таким образом, механические колебания обуславливают появление механических волн. Необходимым условием их распространения является наличие твердой, жидкой или газообразной среды. В вакууме механические волны отсутствуют.

К числу механических колебаний, часто возникающих при реализации технологических процессов, относится вибрация. Механические волны включают инфразвук, акустические колебания и ультразвук. Вибрация и механические волны имеют общую природу, так как, в соответствии с изложенным, источником их являются колебания твердой, жидкой или газообразной сред.

6.1.2. Вибрация

Простейшим видом вибрации являются гармонические (синусоидальные) колебания.

Основные параметры синусоидальных колебаний: частота, $\Gamma_{ц}$; амплитуда смещения, м или см; скорость V , м/с; ускорение a , м/с^2 или в долях ускорения силы тяжести ($9,81 \text{ м/с}^2$).

За пороговый уровень колебательной скорости принимается величина $5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$, соответствующая среднеквадратичной колебательной скорости при стандартном пороге звукового давления, равном $2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$. За пороговый уровень колебательного ускорения принимают величину $3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$, вибросмещения — ($8 \cdot 10^{-12} \text{ м}$).

Относительные уровни виброскорости L_V и виброускорения L_a выражают в децибелах (разд. 6.1.3.2) и определяют по формулам (6.1) и (6.2):

$$L_V = 20 \lg \left(\frac{V}{V_0} \right) = 20 \lg \frac{V}{5 \cdot 10^{-8}} , \quad (6.1)$$

где V — среднеквадратичная виброскорость, м/с; V_0 — пороговая виброскорость, равная $5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$:

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{3 \cdot 10^{-4}} . \quad (6.2)$$

Классификация вибраций осуществляется по нескольким признакам.

По способу передачи человеку различают вибрации *локальные (местные)* и *общие*. Первые передаются через руки (при работе с ручными машинами, органами управления), вторые — через опорные поверхности стоящего, сидящего или лежащего человека.

По характеру спектра вибрации подразделяют на узко- и широкополосные. В *узкополосных* вибрациях контролируемые параметры в $1/3$ -октавной полосе частот (разд. 6.1.3.2) более чем на 15 дБ превышают значения в соседних $1/3$ -октавных полосах. *Широкополосные* вибрации не отвечают этим требованиям.

По частотному составу различают вибрации: *низкочастотные* с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах 8 и 16 Гц (локальные), 1 и 4 Гц (общие); *среднечастотные* — 31,5 и 63 Гц (локальные), 8 и 16 Гц (общие); *высокочастотные* — 125, 250, 500 и 1000 Гц (локальные), 31,5 и 63 Гц (общие).

Местные вибрации создают преимущественно ручные машины ударного, ударно-вращательного и вращательного действия: клепальные, рубильные, отбойные молотки, бурильные перфораторы, трамбовки, гайковерты, поверхностные и глубинные ручные вибраторы, шлифовальные машины, бензо- и электропилы, дрели и т.п.

Общую вибрацию инициируют, например, самоходные и прицепные машины (транспортная вибрация), экскаваторы, промышленные и строительные краны, горные комбайны, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт (транспортно-технологическая вибрация), станки металлорежущие и деревообрабатывающие, кузнечно-прессовое оборудование, буровые станки, электрические машины и др. (технологическая вибрация).

Особенно опасны колебания в режиме резонанса, когда резко возрастает их амплитуда. При резонансе совпадают частота так называемых вынужденных колебаний тела, обусловленная действием на него периодически изменяющихся внешних сил, и частота его свободных колебаний, возникающих в нем под влиянием внутренних сил после выведения тела из равновесия. Классическим примером возможной ситуации резонанса является прохождение по мосту строевым шагом воинской части. В данном случае вероятно совпадение частоты свободных колебаний самого моста и вынужденных его колебаний под влиянием мерного шага воинской колонны. Как следствие можно получить недопустимо большую вибрацию моста и его разрушение. Именно поэтому при переходе через мост воинским частям запрещается идти «в ногу».

Характер воздействия вибраций на организм определяется их уровнями, спектром частот, физиологическими параметрами тела человека.

Местные вибрации малой интенсивности могут оказать даже благоприятное влияние: восстановить обмен веществ и питание тканей организма, улучшить функциональное состояние центральной нервной системы, ускорить заживление ран. Однако при увеличении интенсивности колебаний и длительности их воздействия появляются изменения, в ряде случаев приводящие к развитию профессиональной патологии — вибрационной болезни.

К ведущим проявлениям вибрационной патологии относятся нейросудистые расстройства рук, сопровождаемые интенсивными болями после работы и по ночам, снижением всех видов кожной чувствительности,

слабостью в кистях. Зачастую наблюдается феномен «мертвых», или белых, пальцев. Параллельно развиваются мышечные или костные изменения, невроты, процессы биологического старения (Вербовой...).

Предельно допустимые величины некоторых видов вибраций (табл. 6.1), предусматриваемые основными законодательными документами, показывают, что уровень транспортно-технологического воздействия (длительность 8 ч) значительно выше, чем в жилых помещениях. Предельно допустимые уровни других видов вибраций, не отраженных в табл. 6.1, например технологических на постоянных рабочих местах, в складах, столовых, бытовых, дежурных комнатах, на рабочих местах умственного труда (заводоуправление, конструкторское бюро, вычислительные центры и т.д.), ниже транспортно-технологических, но выше, чем в жилых помещениях.

Таблица 6.1

Допустимые значения вибрации

Тип вибрации	Параметр, дБ	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц					
		2	4	8	16	31,5	63
Транспортно-технологическая	Виброскорость	117	108	102	101	101	101
	Виброускорение	62	59	59	65	71	71
В жилых помещениях	Виброскорость	79	73	67	67	67	67
	Виброускорение	25	25	25	31	37	43

Для снижения воздействия вибраций необходимы мероприятия по их элиминированию в источниках возникновения или, при невозможности этого, на путях распространения колебаний.

Основной причиной вибрации многочисленного оборудования с вращающимися частями, например насосов, компрессоров, двигателей, является дисбаланс этих частей, вызванный неоднородностью материала конструкции (литейные раковины, шлаковые включения), искривлением валов и роторов, неплотностью крепежных соединений, излишними люфтами и зазорами между отдельными элементами оборудования. Устранение указанных причин и исключение резонансных режимов работы оборудования позволяют резко снизить величину вибраций в источнике возникновения.

Способы снижения вибраций на путях их распространения включают виброгашение, виброизоляция и вибродемпфирование.

При *виброгашении* фундамент и установленное на него оборудование соединяют в единую систему с помощью анкерных болтов или цементной заливки. Этот метод требует больших затрат времени. В

ряде случаев фундамент представляет собой сложное инженерное сооружение, по стоимости значительно более дорогое, чем оборудование.

Поэтому, когда это возможно, стараются установить оборудование без фундамента, непосредственно на *виброизолирующих опорах*. Такие опоры можно применять и при наличии фундамента. Их располагают между источником вибраций (машина) и фундаментом (основанием, опорной плитой) либо между фундаментом и грунтом. Виброизоляторами служат резиновые или пластмассовые прокладки, одиночные или составные цилиндрические пружины, листовые рессоры, комбинированные (пружинно-резиновые, пружинно-пластмассовые, пружинно-рессорные) и пневматические (воздушные подушки) виброизоляторы. Виброизоляция проще и дешевле виброгашения и может использоваться совместно с ним.

В основе *демпфирования* лежит поглощение энергии колебания системы за счет увеличения в последней активных потерь. Вибродемпфирование реализуется применением материалов с большим внутренним трением: малоуглеродистых и малосернистых чугунов, сплавов цветных металлов. Перспективны вибродемпфирующие покрытия. Их применяют для снижения колебаний трубопроводов и газопроводов компрессорных станций, воздухопроводов систем вентиляции административных зданий. К числу распространенных вибродемпфирующих покрытий относятся мастичные и листовые (пенопласт, войлок, поролон, минераловатные плиты, губчатая резина и др.).

К работе с вибрирующими машинами и оборудованием допускаются лица не моложе 18 лет, получившие необходимую квалификацию и сдавшие технический минимум по правилам безопасного выполнения работ.

6.1.3. Механические волны

Механические волны, распространяемые в окружающей среде, имеют разную частоту. Различают волны с частотами менее 17 Гц (*инфразвук*), 17-20000 Гц (*звук*) и более 20000 Гц (*ультразвук*). Инфра- и ультразвук не улавливаются человеческим ухом (не слышимы), колебания в диапазоне 17-20000 Гц воспринимаются как звучание. В технике механические волны в режиме звучания часто называют акустическими, выделяя в них звук и шум (разд. 6.1.3.2).

6.1.3.1. Инфразвук

В природных условиях инфразвуковые волны возникают во время ураганов и землетрясений на море. Скорость их распространения в воде гораздо выше, чем перемещение урагана или гигантских волн цунами, образующихся при землетрясении. Это позволяет, фиксируя инфразвуковые волны, заранее получать сигналы приближающейся опасности.

Одной из особенностей инфразвуков является их слабое, по сравнению с волнами звуковыми, поглощение в воздухе. Поэтому инфразвук распространяется на большие расстояния — в несколько тысяч километров при мощных взрывах.

Данный вид механических волн пока мало применяется в технике, но достаточно часто возникает в качестве побочного эффекта при наличии низкочастотных акустических колебаний. Инфразвуковое воздействие часто приводит к появлению у подвергшихся ему лиц многочисленных субъективных ощущений: страха, тревоги, слабости, дискомфорта, угнетенного состояния. Возникают также вполне объективные неприятные ощущения в брюшной и грудной полостях, чувство вибрации тела, головокружение, тошнота. Учитывая большую длину волны инфразвуковых колебаний, их отрицательное воздействие на организм человека проявляется на значительных расстояниях от источника.

Существенно опасны вибрации в диапазоне 11-35 Гц (особенно 16 Гц) на рабочих местах. Наряду с отмеченным выше они могут привести к непроизвольному мочеиспусканию, болям во внутренних органах, рвоте, потере сознания, нарушению и даже прекращению сердцбиения. У 80% операторов такие отклонения наблюдают уже при акустическом давлении 110 дБ. Зарегистрированы также изменения метаболической активности клеток в жизненно важных системах организма с комплексом симптомов, характерных для стресса.

Энергетическое воздействие инфразвука воспринимается всем организмом и его рецепторными полями: слуховым, вестибулярным, механорецепторами кожи, опорно-двигательного аппарата, внутренних органов и др.

Разрушительное действие энергии низкочастотных колебаний особенно ощутимо на границе сред с разной плотностью. Самое уязвимое место организма в данном случае — граница перехода из воздушной среды альвеол легких в ткань межальвеолярных перегородок. При этом степень выраженности морфологических изменений легких пропорциональна интенсивности инфразвукового воздействия. Этими изменениями объясняются функциональные нарушения внешнего дыхания, например профессиональная легочная патология у специалистов, обслуживающих инфразвуковые установки.

В соответствии с санитарными нормами уровни инфразвука на рабочих местах не должны превышать 105 дБ в каждой октавной полосе от 2 до 31,5 Гц, а на территории жилой застройки — 90 дБ.

Средства защиты от инфразвука в значительной степени отличаются от применяемых в борьбе с другими видами механических волн. Это связано со значительно большей длиной инфразвуковых волн по сравнению с размерами препятствий на пути распространения. В частности, малоэффективна защита от вредного воздействия инфразвука расстоянием, так как поглощение последнего с частотой менее 10 Гц в нижних слоях атмосферы не превышает $8 \cdot 10^{-6}$ дБ/км.

Снижение интенсивности инфразвука может быть достигнуто изменением конструкции или режима работы устройств: акустической изоляцией источника; поглощением энергии при помощи глушителей, в том числе работающих на тех же принципах, что и глушители шума, например камерные, резонансного типа (разд. 6.1.3.2); использованием механических преобразователей частоты с переводом низкочастотных колебаний в менее опасные ультразвуковые.

6.1.3.2. Акустические волны

Как было отмечено, к акустическим относят механические волны с частотой 17-20000 Гц. Достигая человека, они приводят к вынужденным колебаниям барабанной перепонки ушей и воспринимаются как звук. Звуковую волну создает любое тело (твердое, жидкое или газообразное), колеблющееся с указанной частотой. Скорость C распространения звука зависит от агрегатного состояния, плотности и температуры среды. В частности, в газе она пропорциональна абсолютной температуре T , обратно пропорциональна молекулярной массе M и, следовательно, плотности газа:

$$C = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}, \quad (6.3)$$

где R — универсальная газовая постоянная; γ — отношение удельных теплоемкостей газов при постоянном давлении и постоянном объеме.

Скорости звука в разных средах составляют, м/с: при 0°С в воздухе — 331; водороде — 1286; диоксиде углерода — 258; жидком водороде (при -256°С) — 1187; жидком и твердом олове — соответственно 2270 (при 380°С) и 3320; в твердом железе — 5930. В общем случае наибольшая степень распространения звука наблюдается в твердых телах, затем — в жидких и газообразных.

Важно отметить, что при переходе из одной среды в другую частота акустических волн остается постоянной, но изменяется их длина в соответствии с вариациями скорости.

При известной частоте колебаний ν и скорости звука C длина λ звуковой волны равна C/ν . Отсюда следует, что при 0°C самые длинные волны, воспринимаемые ухом в воздухе, равны 19,5 м, а самые короткие — 16,5 мм.

Частота колебаний звука определяет его тональность. Условно считают, что большей частоте соответствует более высокая тональность звука. В частности, представление о высоком тоне дает звук летящего комара, о низком — гудение шмеля.

Весьма важной характеристикой звуковых волн является их интенсивность (громкость). Восприятие громкости субъективно, поскольку один и тот же звук кому-то может показаться громким, а другому — тихим; интенсивность же (сила) звука — критерий объективный. Ее определяют по энергии, которую переносят звуковые волны за единицу времени через единицу площади поперечного сечения, перпендикулярного направлению распространения волн. Единицей измерения интенсивности звука в системе СИ является 1 Вт/м^2 .

На практике для оценки интенсивности звуков обычно принимается логарифмическая шкала. Одна единица на ней, соответствующая увеличению звуковой энергии в 10 раз (логарифм 10 равен 1), получила название бел (Б). Однако практически более удобно использовать не бел, а в десять раз меньшую величину — децибел (дБ), которая примерно соответствует минимальному приросту силы звука, различаемому ухом.

В реальных условиях производства и быта чаще встречаются не звуковые волны определенной частоты, а шум, в котором одновременно присутствуют акустические волны всевозможных частот.

Интенсивность шума определяется в пределах октав. Октава — диапазон частот, в котором верхние их значения f_v вдвое больше нижних (f_n), например 40-80, 80-160 Гц. Для идентификации октав принимают так называемые среднегеометрические частоты ($f_{\text{сг}}$). В частности, для октавы 40-80 Гц среднегеометрическая частота составляет 62,5 Гц, для октавы 80-160 Гц она равна 125 Гц и т.д. При этом:

$$f_{\text{сг}} = \sqrt{f_v \cdot f_n} = \sqrt{2f_n^2} = 1,4f_n \quad (6.4)$$

Известно несколько классификаций шума:

по частотной характеристике — *низкочастотные* (до 350 Гц), *среднечастотные* (350-800 Гц) и *высокочастотные* (более 800 Гц);

по характеру спектра — *широкополосные*, с непрерывным спектром более октавы, и *тональные*, в которых уровень шума в одной из

полос повышен не менее чем на 10 дБ в сравнении с соседними 1/3-октавными полосами;

по временным характеристикам — постоянные, уровень интенсивности которых за 8-часовой рабочий день изменяется не более чем на 5 дБ, и *непостоянные*, не соответствующие этому требованию.

В промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте имеется значительное число видов профессиональной деятельности, связанных с высоким уровнем шума. Это работа буровых станков, отбойных молотков, горных машин и комбайнов в горнорудной промышленности; дробление и измельчение в процессах обогащения полезных ископаемых; обрубка литья, механическая обработка и ковка в машиностроении; прядильно-ткацкое производство; клепка, сверление, сварка на предприятиях строительного профиля, работа транспорта и т.д.

Усредненный уровень шума, создаваемый некоторыми его источниками, выглядит следующим образом, дБ: гидроструйный транспорт в забоях — 140, пневматическое долото — 122, ткацкие станки — 112, отрезная пила — 106, сельскохозяйственный трактор — 103, токарный станок — 95, пылесос — 72, разговор — 60; транспортные средства: автобусы — 82-90, трамваи — 85-90, троллейбусы — 71-74; магистральные улицы — 90-95, кварталы вдоль магистралей общегородского значения — 67-77, поезд при скорости 70-80 км/ч на рельсах с деревянными шпалами — 125-130 дБ. Авиационный шум оказывает неблагоприятное воздействие в радиусе до 10-20 км.

Характер восприятия человеком уровня громкости шума изменяется в зависимости от его интенсивности. Как болезненно громкий воспринимается шум 130-120 дБ, дискомфортно-громкий — 110-100, очень громкий — 90-80, умеренно громкий — 70-60, тихий — 50-40, очень тихий — 30-20 дБ.

К наиболее опасным для здоровья относятся уровни свыше 80 дБ. Уровень 120-130 дБ вызывает болевые ощущения, при интенсивности ~140 дБ может наступить потеря слуха. Выяснено также, что шумы сплошного спектра менее раздражают, чем с узким интервалом частот. Наибольшее раздражение вызывает шум в диапазоне 3000-5000 Гц.

Воздействие шума на организм может проявляться в виде специфического поражения органа слуха (шумовая болезнь), нарушения функционального состояния других органов и систем, снижения производительности труда, повышения уровня травматизма.

Длительное воздействие интенсивного шума (свыше 80-85 дБ) приводит к частичной или полной потере слуха. По данным отечественных специалистов, профессиональной тугоухостью страдает ряд категорий работников, %: наземных служб аэродромов, компрессорных станций, испытателей двигателей, кузнецов — 77; ткацкого производ-

ства — 45-70; рудников и машиностроительных заводов, моряков, рыбаков — 42-43. В структуре хронических заболеваний органов дыхания и слуха в нашей стране на долю нейросенсорной тугоухости приходится более 31%. Аналогично положение за рубежом. В США насчитывается 35 млн человек с потерей слуха, из которых профессиональной тугоухостью страдают 8 млн. Возможные компенсации последним оцениваются суммой 20 млрд дол. Это превращает компенсацию профессиональной тугоухости в наиболее важную медико-социальную проблему США (Ларина).

Наряду с этим шум может негативно отразиться на сердечно-сосудистой системе с развитием гипертонической болезни, вызвать системный атеросклероз сосудов, острое нарушение коронарного и мозгового обращения, частые обострения язвенной болезни. Более 80% мигреней, 52% расстройств памяти также обусловлены шумом.

Весьма существенно отрицательное влияние шума на зрение. Наблюдается утомление зрительного анализатора, снижается устойчивость остроты зрения и чувствительность глаза к различным световым спектрам и дневному свету. Ухудшаются ответные реакции на цветные сигналы, точность оценки расстояния при движении руки.

Шум негативно сказывается на результатах профессиональной деятельности. При его наличии на 30% падает качество ручного труда, на 60% — умственного; 11-16% несчастных случаев также обусловлены им. В 30% случаев шум является причиной преждевременного старения и сокращения продолжительности жизни на 8-12 лет. В целом неблагоприятное акустическое воздействие ощущает каждый второй человек на планете.

Шум как достоверная причина ряда инфекционных заболеваний населения выявлен при измерениях его внешнеквартирных (68-75 дБ) и внутриквартирных (54-58 дБ) значений на протяжении 14 лет (1982-1995 гг.). В частности, для взрослых найдены следующие коэффициенты корреляции между интенсивностью шума и заболеваниями: злокачественные образования — 0,89; кровь и кровеносные органы — 0,77; органы зрения — 0,75; органы дыхания — 0,62; средний отит, мастоидит уха и сосцевидного отростка — 0,92; гипертония — 0,79; ишемия сердца — 0,92; органы пищеварения — 0,72; мочеполовая система — 0,54; суммарная заболеваемость — 0,72 (Близнюк).

Первые в мире нормы по шуму были приняты в СССР (1956 г.). В начале 60-х годов появились нормы, рекомендованные Международной организацией по стандартизации (ISO). В настоящее время действует более 70 международных стандартов, в России — свыше 80 отечественных.

Постоянный шум нормируется по уровню звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц. Непостоянный шум регламентируется по эквивалентным и максимальным уровням звука. *Эквивалентный* (по энергии) *уровень* соответствует звуку постоянного широкополосного шума, имеющего то же среднеквадратичное звуковое давление, что и сравниваемый непостоянный шум. *Максимальный уровень* непостоянного шума определяется по наивысшим показателям шумомера в течение

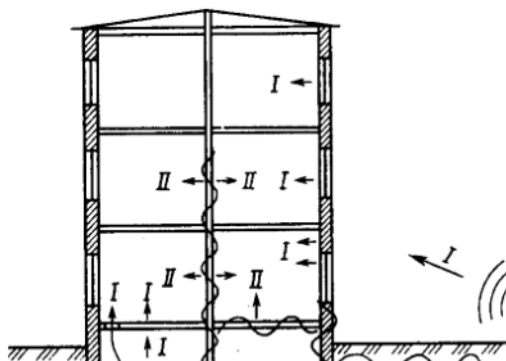


Рис. 6.1. Пути проникновения шума
I — воздушный шум; II — структурный шум; 1, 2 — источник шума и вибраций

1% общего времени измерения. Эквивалентные уровни измеряют по шкале А шумомера, на что указывает размерность величины (дБА). Отметим некоторые допустимые уровни звука в помещениях жилых и общественных зданий, на территориях жилой застройки и при различных видах профессиональной деятельности (в интервале среднегеометрических частот 31,5-8000 Гц), дБ: творческая деятельность с повышенными требованиями — 86-38; административно-управленческая деятельность — 93-94; диспетчерская работа — 96-95; дистанционное управление производственным циклом — 103-75; работа с оборудованием, характеризующимся повышенным уровнем шума и требующим специальных мер по его снижению — 110-85; другие виды работ, не соответствующие вышеперечисленным — 107-80; жилые комнаты квартир — 40; территории, непосредственно прилегающие к жилым домам — 55 (с 7 до 23 ч) и 45 (с 23 до 7 ч).

Способы защиты от шума в настоящее время достаточно разнообразны. Выбор конкретного из них определяется тем, к какому виду он относится, является ли он, например, воздушным или структурным. *Воздушный шум* распространяется в свободном воздушном пространстве на всем расстоянии от источника возникновения до реципиента. *Структурный шум* излучается в замкнутое пространство зданий и сооружений поверхностями колеблющихся конструкций стен, перекрытий, перегородок и т.п. (рис. 6.1).

Эквивалентные уровни измеряют по шкале А шумомера, на что указывает размерность величины (дБА).

Отметим некоторые допустимые уровни звука в помещениях жилых и общественных зданий, на территориях жилой застройки и при различных видах профессиональной деятельности (в интервале среднегеометрических частот 31,5-8000 Гц), дБ: творческая деятельность с повышенными

При распространении воздушного шума существенное снижение интенсивности его воздействия может быть достигнуто удалением от него, особенно при высоких частотах:

Среднегеометрические частоты, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Снижение шума, дБ/км	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

При наличии источников структурного шума в большинстве случаев для его снижения требуется применение специальных мер.

Одной из них является использование звукопоглощающих (ЗПМ) и вибродемпфирующих (ВДМ) материалов, а также изделий из них (базальтовое и стеклянное волокно, пенополиуретан, мастики и др.). Большой эффект дает покрытие вибрирующей поверхности материалом со значительным внутренним трением (резина, пробка, битум и т.п.).

Шумы ослабляются устройством на машинах специальных кожухов или размещением шумящего оборудования в помещениях с массивными стенами без щелей и отверстий.

Одним из эффективных способов поглощения шумов является применение глушителей. Выбор типа глушителей зависит от спектра шума, требуемой величины снижения последнего, конструкции заглушаемой установки, допустимого аэродинамического сопротивления. В зависимости от принципа действия, глушители делят на абсорбционные, реактивные (рефлексные) и комбинированные.

Абсорбционные глушители снижают шум за счет поглощения звуковой энергии в применяемых для них звукопоглощающих материалах, а *реактивные глушители* — в результате обратного отражения звука к его источнику. *Комбинированные глушители* обладают способностью как поглощать, так и отражать звук. Такое деление достаточно условно, так как в каждом глушителе звуковая энергия и поглощается, и отражается, только в разных соотношениях.

Глушители абсорбционного типа обеспечивают необходимое снижение шума в широком диапазоне частот при небольшом аэродинамическом сопротивлении, поэтому они нашли широкое применение в аэродинамических установках. Наиболее простыми из них являются трубчатые глушители в виде каналов круглого, квадратного или прямоугольного сечения, выполненных из перфорированного листового материала и облицованных слоем звукопоглотителя типа стеклянного или базальтового полотна, минераловатных плит. Для уменьшения габаритов глушителей и увеличения интенсивности затухания шума в них на единицу длины в широких каналах устанавливают пластинчатые глу-

шители, представляющие собой набор параллельно установленных звукопоглощающих пластин.

Глушители реактивного типа применяют в основном для снижения шума с резко выраженными дискретными составляющими, характерными для двигателей внутреннего сгорания, поршневых компрессоров и т.п. Их устанавливают в трубопроводах сравнительно небольших диаметров, когда длина волны заглушаемого звука значительно больше поперечных размеров трубопровода. Наиболее распространенные конструкции реактивных глушителей — камерные и резонансные. Первые представляют собой внезапное расширение участка трубопроводов, вторые — это ответвленные и концентрические объемы с жесткими стенками, сообщающиеся с трубопроводом через отверстия.

На практике часто используют комбинированные глушители, работающие одновременно и как абсорбционные, и как реактивные, например камерные глушители с облицованной звукопоглощающим материалом внутренней поверхностью.

Если агрегаты не могут быть звукоизолированы, то для защиты персонала и других лиц от прямого воздействия шума необходимо применять акустические экраны, облицованные звукопоглощающим материалом, звукоизолированные кабины наблюдения и дистанционного управления, средства индивидуальной защиты: противошумы в виде заглушек-вкладышей, наушники и шлемы. Акустические экраны в виде стенок, насыпей и комбинированные при высоте 2-2,5 м устанавливают, например, вдоль автомобильных и железных дорог, в аэропортах. При их возведении используют бетон, стекло, кирпич, дерево, старые покрышки и т.п.

В последние годы разработаны новые методы борьбы с шумом, основанные на улучшении качества восприятия звука и интерференции звуковых волн.

Улучшение качества звука основано на том, что шумы разного частотного состава, но одинаковые по уровню интенсивности звука, воспринимаются по-разному. Разница восприятия может достигать 10-14 дБ.

Интерференция звуковых волн при их наложении — принципиально новая технология активной шумозащиты. Она реализуется путем генерирования звуковой энергии дополнительным источником. Ее применяют для снижения внутреннего и внешнего шума автомобилей, самолетов, вентиляционных систем и пр. Достижимое снижение уровня звукового давления составляет 7-15 дБ на низких частотах (преимущественно до 500 Гц) или на основных частотах вращения турбомашин, вентиляторов и т.д. (Иванов).

Ослаблению шума способствуют планировочные мероприятия. В частности, шумные цехи следует размещать в глубине заводских территорий, ограждать зоной зеленых насаждений.

Неблагоприятное влияние шумов может быть уменьшено не только техническими и технологическими средствами, планировочными мероприятиями, но и сокращением времени их воздействия, рациональными режимами труда и отдыха с использованием комнат акустической разгрузки и т.п.

6.1.3.3. Ультразвук

Как уже отмечалось, ультразвук отличается от звука лишь более высокой частотой, превышающей верхний порог слышимости (20 кГц). Он также способен распространяться в любых (твердой, жидкой, газообразной) средах. Скорость распространения в них различна и зависит от свойств среды — плотности, упругости, вязкости и температуры. Ультразвук сильно поглощается газами и во много раз слабее — твердыми веществами и жидкостями, поэтому только в этих двух последних средах он может передаваться на значительные расстояния. В воздушной среде хорошо распространяется только низкочастотный (до 30 кГц) ультразвук, при большей частоте он в воздухе сразу гасится. Поглощение ультразвука при увеличении его частоты и повышении температуры возрастает также и в других средах.

Поскольку энергия волновых колебаний пропорциональна квадрату частоты, то ультразвук может переносить энергию намного большую, чем звук. Другая важная особенность ультразвука заключается в достаточной простоте осуществления его направленного излучения острыми, слабо расходящимися пучками.

Для получения ультразвука большой интенсивности используют свойство кристаллов некоторых веществ, например кварца, менять свои размеры в электрическом поле — в зависимости от его направления сжиматься или растягиваться (пьезоэлектрический эффект). При совпадении частоты переменного поля с собственной частотой кварцевой пластины возникают ее резонансные колебания с резким возрастанием амплитуды и мощности ультразвуковой волны. В воде такая пластина может генерировать волны мощностью до нескольких кВт/см² ее поверхности. Помимо пьезоэлектрического эффекта, для получения ультразвука используют явление магнитострикции, т.е. изменения формы и размера кристаллических тел при намагничивании.

В производственных условиях ультразвук нередко образуется при аэродинамических процессах и сопутствует шуму (работа реактивных двигателей, газовых турбин, мощных пневмодвигателей и др.).

Физико-гигиеническая характеристика ультразвука, как и звука, определяется частотой колебаний ($\Gamma_{\text{ц}}$) и их интенсивностью ($\text{Вт}/\text{см}^2$). При распространении ультразвука в воздушной среде его характеризуют также в единицах интенсивности (дБ).

Механические, термические, физико-химические эффекты, вызываемые ультразвуком, используют в медицине, промышленных технологиях, биологии и других случаях. Применение ультразвука столь обширно, что все возможные области его использования трудно перечислить.

В медицине практическое применение получили высокочастотные колебания. Они внедрены в офтальмологии, оториноларингологии, гинекологии, терапии при лечении ряда заболеваний, для диагностики. Частота колебаний для диагностики составляет $800 \text{ к}\Gamma_{\text{ц}} - 20 \text{ М}\Gamma_{\text{ц}}$ при интенсивности $0,01 - 20 \text{ Вт}/\text{см}^2$. Интенсивность ультразвука для терапии обычно не превышает $0,2 - 0,4 \text{ Вт}/\text{см}^2$.

В промышленности ультразвук используют для анализа, контроля, интенсификации технологических процессов.

Ультразвуковой контроль (дефектоскопия) применяется для определения прочности сварных швов, заклепочных соединений котлов, трубопроводов, качества продукции прокатного, кузнечного и прессового цехов, деталей автомашин, турбин самолетов, железобетонных конструкций, железнодорожных рельсов. Для дефектоскопии необходима высокая частота ультразвука (порядка нескольких мегагерц).

При интенсификации разнообразных технологических процессов ультразвук часто применяют для воздействия на вещество, взвешенное в жидкости. В этом случае под влиянием интенсивных высокочастотных колебаний частицы жидкости приобретают такие большие ускорения, что в ней на короткое время образуются разрывы (пустоты), которые затем резко захлопываются. Гидравлические удары, возникающие при захлопывании пустот (явление *кавитации*), оказывают сильное дробящее действие, что используется, например, для приготовления коллоидных систем суспензионного и эмульсионного типов.

Широкое применение в промышленности получили ультразвуковая очистка, промывка и обезжиривание металлических деталей, оптических стекол, изделий из керамики, основанные на кавитационных явлениях в моющем растворе. Ультразвуковая обработка внедрена также для предотвращения накипеобразования в котлах, очистки деталей от продуктов коррозии и т.д.

Ультразвук используют для сверления и резания металлов, стекла, керамики, обработки драгоценных камней и других твердых и хрупких материалов. С его помощью осуществляются процессы пайки, лужения, сварки.

Ультразвук лежит в основе гидролокационных установок определения расстояния в водной среде до различных объектов (встречных надводных и подводных судов, косяков рыб, айсбергов и т.п.). Отметим, что способностью к эхолокации обладают также некоторые животные (летучие мыши, дельфины, киты).

Ультразвук оказывает сильное биологическое воздействие, в частности в его поле погибают микробы. Поэтому он используется для стерилизации молочных и других продуктов, очистки сточных вод.

Влияние ультразвука на человека достаточно известно. Оно распространяется на весь организм, но непосредственно — на молекулярном и клеточном уровнях. Основной эффект — тепловой.

Низкочастотный ультразвук, кроме общего влияния на организм, передаваемого через воздушную среду, оказывает локальное воздействие на человека при соприкосновении его с обрабатываемыми деталями и средами, в которых возбуждены колебания. Чаще всего под него попадают кисти рук при удерживании инструментом обрабатываемых деталей (лужение, пайка), при загрузке их в ванны и т.д. Локальное действие мощных установок (6-7 Вт/см²) весьма опасно, так как может привести к поражению периферического нервного и суставного аппаратов в местах контакта (вегетативные полиневриты и множественные воспаления периферических нервов, парезы пальцев, кистей и предплечья).

При интенсивности ультразвука выше установленных норм могут развиваться функциональные изменения центральной и периферической нервной, сердечно-сосудистой систем, слухового и вестибулярного анализаторов. Рабочие страдают от головных болей, головокружения, повышенной утомляемости, раздражительности, дневной сонливости. При систематическом воздействии ультразвукового поля отмечается повышение температуры тела и кожи, снижение уровня сахара в крови.

Высокочастотный ультразвук гасится воздушной средой, но при соприкосновении с поверхностью тела вызывает в основном те же нарушения, что и рассмотренный низкочастотный. В дополнение к этому выявлено, что высокочастотные колебания с продолжительностью импульса ~3 мс вызывают нарушение мембран в суспендированной среде человеческих эритроцитов.

Допустимые уровни ультразвукового давления на рабочих местах, нормированные в 1/3-октавных полосах частот, должны соответствовать следующим значениям:

Среднегеометрические частоты, кГц	12,5	16,0	20	25	31,5 и выше
Уровень давления, дБ	80	90	100	105	110

Все установки, при работе которых уровни ультразвука превышают допустимые, необходимо оборудовать звукоизолирующими устройствами (кожухи, экраны) из листовой стали или дюралюминия, покрытого звукопоглощающим материалом (рубероид, техническая резина, пластмассы, гетинакс, противошумные мастики и др.). Если этих мер оказывается недостаточно, то установки, генерирующие колебания с общей интенсивностью 135 дБ, нужно размещать в кабинах со звукоизоляцией. Существенно снижает уровень ультразвука размещение установок в звукоизолированных помещениях или кабинах с дистанционным управлением.

Работникам следует применять специальный инструмент с виброизолирующей рукояткой и защищать руки резиновыми перчатками с хлопчатобумажной подкладкой. При кратковременном обслуживании действующего оборудования с повышенным уровнем ультразвука нужно использовать средства индивидуальной защиты — противошумы (ГОСТ 15762-70). Необходимо также полностью исключить контакт с жидкими и твердыми средствами, используемыми в ультразвуковых установках.

6.2. Электромагнитные волны

6.2.1. Общие представления

В отличие от механических, для распространения которых необходима газообразная, жидкая или твердая среда, электромагнитные волны могут распространяться и в вакууме, т.е. в пространстве, не содержащем атомов. В остальном они ведут себя подобно механическим волнам, в частности имеют конечную скорость и переносят энергию. Наибольшая скорость электромагнитных волн характерна для вакуума (300 тыс. км/с). В других средах она меньше.

Весьма важно отметить, что переменное электрическое поле не может существовать без переменного магнитного, и наоборот, нельзя создать переменное магнитное поле без одновременного возникновения в пространстве переменного электрического поля. И тот и другой вид электромагнитных волн имеет место лишь при движении заряженных частиц с переменной скоростью.

Длина электромагнитных волн может быть самой различной — от 10^7 км до 10^{-11} см. В настоящее время в зависимости от их длин и частот принято выделять ионизирующее излучение (гамма- и рентгеновское), излучение оптического диапазона (ультрафиолетовое, видимый свет, инфракрасное), радио- и низкочастотный диапазон.

Излучения с различной длиной волны сильно отличаются друг от друга по интенсивности и степени поглощения их веществом. В частности, наиболее интенсивное, ионизирующее, излучение, особенно γ -лучи, не поглощается веществами, непрозрачными для волн оптического диапазона.

Охарактеризуем отдельные виды излучений.

6.2.2. Ионизирующее излучение

6.2.2.1. Гамма-излучение

Этот вид электромагнитного поля имеет длину волны 10^{-13} - 10^{-10} м, что соответствует частоте $3 \cdot 10^{21}$ - $3 \cdot 10^{18}$ Гц. Гамма-излучение, наряду с α - и β -лучами, испускается радиоактивными веществами при их распаде, при аннигиляции пар частиц, а также возникает при торможении в веществе заряженных частиц с большой энергией. Проникая в вещество, γ -излучение вызывает переход молекул в возбужденное состояние и их диссоциацию на атомы и радикалы, выбивает электроны из атомов, переводя часть вещества в ионизированное состояние. Высокая проникающая и ионизирующая способность γ -квантов объясняется их наибольшей среди всех электромагнитных волн энергией, которая изменяется от 12,4 до 0,012 МэВ.

Воздействие γ -излучения снижается пропорционально квадрату расстояния от его источника и измеряется в рентгенах. *Рентген* является единицей, введенной специально для того, чтобы определять дозу облучения живых организмов рентгеновскими и гамма-лучами. *Доза облучения* пропорциональна его продолжительности и интенсивности. Она характеризует электромагнитное поле в определенном месте, не обязательно совпадающем с источником ионизации, т.е. не является величиной, однозначно определяющей мощность этого источника.

Один рентген соответствует:

83,8 эрг, поглощаемых 1 г воздуха;

около 93-95 эрг, поглощаемых 1 г живых тканей;

образованию $2,082 \cdot 10^9$ пар ионов в 1 см^3 воздуха при нормальных условиях;

возникновению $1,61 \cdot 10^{12}$ пар ионов в 1 г воздуха;

$6,77 \cdot 10^4$ МэВ, поглощенных 1 см^3 воздуха при нормальных условиях (0°C , 760 мм рт. ст.).

При равных поглощенных дозах различные виды излучений, например гамма- и рентгеновское, обуславливают разный биологический эффект в живом веществе. Для этого случая введен «биологический

эквивалент дозы», выражаемый в биологическом эквиваленте рентгена (бэр). В международной системе единиц эквивалентной дозой является *зиверт* (Зв), равный 100 бэр.

Отметим, что НРБ-99 содержит новое дозиметрическое понятие — «эффективная доза облучения». Она представляет собой сумму произведений эквивалентных доз в органах или ткани на взвешивающие безразмерные коэффициенты, установленные для этих органов или тканей.

Гамма-излучение находит широкое применение во многих отраслях народного хозяйства, в частности для дефектоскопии металлов, изучения структуры и износа материалов, разделения веществ, синтеза химических соединений, снятия статического электричества.

На основе «ядерного гамма-резонанса без отдачи ядра» (эффекта Мессбауэра) изучают диффузионные характеристики, механизм диффузии, кинетику химических и фазовых превращений, продолжительность жизни изотопов, магнитные поля атомов и многое другое.

Поскольку гамма-излучение оказывает сильнейшее воздействие на все живые организмы и убивает микробы, то его используют для стерилизации инструментов, предохранения овощей, фруктов и мяса от порчи. Его эффективно применяют для подавления раковых опухолей. Однако хорошо известно и вредоносное действие γ -излучения.

Под его влиянием в клетках организмов возможны такие патологические процессы, как разрывы молекул ДНК и РНК, хромосомные нарушения, изменение нормального процесса деления клеток и их гибель. В частности, сравнительно слабые излучения, энергия которых даже при полном поглощении повысила бы температуру тела всего на $0,001^{\circ}\text{C}$, оказываются достаточными, чтобы нарушить жизнедеятельность клеток организма. Опасность усугубляется тем, что не возникает каких-либо болевых ощущений. Сильное и, как правило, неблагоприятное влияние γ -излучение оказывает на наследственность.

Конечным этапом воздействия больших доз γ -излучения на ткани, клетки и жидкие среды организма является развитие острой или хронической лучевой болезни. Она проявляется в изменении функций и нарушении регуляции деятельности нервной, эндокринной и других систем организма, клеточно-тканевых поражениях.

Особенно неблагоприятно γ -излучение действует на стволовые клетки, кроветворные ткани костного мозга и ткани кишечника. Угнетается иммунитет, что приводит к развитию инфекционных осложнений, интоксикации и другим неприятным последствиям.

Известно, что при кратковременном облучении человека доза в 20-50 рентген вызывает изменения в крови, 100-250 рентген приводят к лучевой болезни, доза в 600 рентген смертельна. При этом в сре-

дах, через которые проходит излучение, могут создаваться его вторичные и рассеянные поля.

Приведенные данные относятся к случаю, когда отсутствует лечение. Однако уже имеется ряд лучевых препаратов (радиопротекторов) и накоплен опыт комплексного лечения острой лучевой болезни, позволяющий исключить смертельный исход при дозах около 10 Гр (1000 бэр).

При обращении с γ -источником необходимы меры защиты людей, которые могут попадать в зону его действия.

Самый простой способ защиты — это удаление персонала от источника излучения на достаточно большое расстояние, поскольку, как уже отмечалось, интенсивность ионизации обратно пропорциональна квадрату последнего. Наилучшим поглотителем является свинец, но в этом случае для защиты требуется его слой толщиной более 20 см.

Надежной защиты можно добиться автоматизацией процессов, дистанционным управлением, правильными размещением установок и планировкой помещений, соблюдением специальных требований к оборудованию, вентиляции, отоплению, водоснабжению, канализации, организации и режиму работы, личной гигиене и др. Необходимо предусматривать санитарные зоны разрыва не менее 25-50 м от жилых и иных зданий.

При работе без защиты с ампулированным препаратом нужно использовать специальные приспособления: щипцы и ручные манипуляторы.

Важным защитным мероприятием является дозиметрический контроль интенсивности излучения. Дозиметрические приборы в помещениях оборудуют световой и звуковой сигнализацией, предупреждающей о повышении уровня радиации. Используют и индивидуальные дозиметры.

Большое значение имеют средства индивидуальной защиты: спецодежда, обувь, перчатки, респираторы и др.

К работе с источниками γ -излучений не допускаются лица моложе 18 лет, беременные, а также кормящие матери.

6.2.2.2. Рентгеновские лучи

Этот вид излучения возникает при торможении быстро летящих электронов. Поскольку их движение представляет собой электрический ток с соответствующим магнитным полем, то при резком торможении электронов в момент удара о препятствие магнитное поле быстро изменяется и в пространство излучается электромагнитная волна. Длина ее тем меньше, чем выше была скорость электрона до удара о препятствие, т.е. чем больше модуль величины ускорения. Так как летящие электроны имеют широкий диапазон скоростей, то при их торможении возникает рентгеновское излучение, образующее сплошной спектр раз-

личных длин волн, от $0,6 \cdot 10^{-11}$ до $2 \cdot 10^{-9}$ м, т.е. больших, чем у γ -излучения. Эти длины волн соответствуют частоте излучения $5 \cdot 10^{19}$ - $1,5 \cdot 10^{17}$ Гц и энергии фотонов 206-0,6 кэВ.

При некоторых условиях возможно получение рентгеновского излучения со строго определенной длиной волны (рентгеновский квантовый генератор). Это происходит, если электроны в ускоряющем поле приобретают скорость, достаточную для того, чтобы проникнуть в глубь атома и выбить один из электронов на его внутренней орбите. Тогда на место выбитого переходит электрон с более удаленной орбиты, излучая квант строго определенной энергии и соответствующей ему частоты. Такое рентгеновское излучение называют характеристическим. Оно имеет линейчатый спектр и накладывается на сплошной спектр тормозного излучения. При увеличении порядкового номера элемента в периодической системе Д.И.Менделеева рентгеновский спектр излучения смещается в сторону коротких длин волн и большей энергии кванта, ибо она, в соответствии с формулой (1.2), прямо пропорциональна частоте колебаний электромагнитного излучения. Легкие элементы, например алюминий, вообще не дают характеристического излучения.

Рентгеновское излучение получают с помощью специальных двух-электродных ламп (рентгеновских трубок), на которые подается очень высокое напряжение (порядка 50-200 кВ). При нагревании вольфрамовой спирали, служащей катодом, возникает термоэлектронная эмиссия. Эмитированные электроны ускоряются сильным электрическим полем в направлении анода и с большой скоростью ударяются в него. Как следствие, поверхность анода начинает испускать рентгеновское излучение. Однако эффективная работа рентгеновских аппаратов возможна только при глубоком вакууме (остаточное давление газа в рентгеновской трубке составляет 10^{-5} - 10^{-7} мм рт. ст.).

Рентгеновские лучи обладают высокой проникающей способностью по отношению ко многим веществам, непрозрачным для видимого света. Чем жестче поток, т.е. чем короче длина волны рентгеновского излучения, тем выше его проникающая способность. Однако она ниже, чем γ -лучей, которые имеют еще меньшую длину волн. Единицей дозы рентгеновского излучения служит рентген.

Рентгеновские лучи нашли ряд важных практических применений. Широко распространен рентгеноструктурный анализ — один из основных методов физико-химического исследования структуры кристаллических тел и определения их вещественного состава. Этот же метод позволяет расшифровать строение сложнейших органических соединений, включая белковые. Рентгеновское излучение используют в медицинской диагностике: различных заболеваний, характера перелома костей, обна-

ружения в теле инородных предметов. Его же в строго дозированных количествах используют для лечения злокачественных новообразований.

Однако продолжительное или слишком интенсивное воздействие на организм рентгеновских лучей, особенно жестких, вызывает тяжелые заболевания, аналогичные возникающим при γ -облучении. По этой причине меры защиты от рентгеновского излучения аналогичны используемым против γ -излучения.

6.2.3. Оптический диапазон

Оптический диапазон открывает область низкоинтенсивных волн сплошного и монохроматического спектров.

6.2.3.1. Сплошной спектр

Этот спектр включает в себя видимую (световую) часть электромагнитного поля и прилегающую к последней невидимую часть оптического диапазона, присутствующую в световом пучке, т.е. ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Ультрафиолетовая область имеет большую частоту, чем фиолетовые лучи видимого диапазона, а инфракрасная область обладает меньшей частотой волн, чем красный свет. Величины длин волн λ , их частот ν и энергии E фотонов отдельных составляющих оптического диапазона приведены в табл. 6.2. Характеристика каждого из типов излучений оптического диапазона приводится ниже.

Таблица 6.2

Характеристика излучений оптического диапазона

Тип излучения	λ , м	ν , Гц	E , эВ
Ультрафиолетовое	$5 \cdot 10^{-9} - 4 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{16} - 7,5 \cdot 10^{14}$	248-3
Видимый свет	$4 \cdot 10^{-7} - 7,6 \cdot 10^{-7}$	$7,5 \cdot 10^{14} - 4 \cdot 10^{14}$	3,0-1,6
Инфракрасное	$7,6 \cdot 10^{-7} - 3,5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{14} - 8,6 \cdot 10^{11}$	$1,6 - 3,6 \cdot 10^{-3}$

Примечание. $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

Ультрафиолетовое излучение, как уже отмечалось (разд. 4.3.4.7), в заметных количествах испускают тела, температура которых достигает нескольких тысяч градусов, поэтому в излучении ламп накаливания его почти нет. Однако значительная доля его присутствует в излучении электрической дуги, особенно при наличии в ней паров ртути (ртутные лампы). Имеется оно и в солнечном излучении, но земная атмосфера сильно поглощает его, поэтому количество ульт-

рафиолетовых лучей у поверхности Земли сравнительно невелико, увеличиваясь в горных районах.

Ультрафиолетовое излучение используют в фотографии, для обнаружения скрытых надписей или стертых текстов (многие вещества при поглощении ультрафиолета начинают испускать видимый свет), в лампах дневного света, для обнаружения дефектов в металлических изделиях. В физике и химии с помощью ультрафиолетовых лучей изучают внешние электронные оболочки атомов различных химических элементов. В настоящее время они находят все большее применение при обеззараживании питьевой воды и очистке сточных вод (разд. 4.3.4.7 и 4.4.).

Действие ультрафиолетового излучения на окружающую среду и человека достаточно многообразно. Оно дает дезинфицирующий эффект, убивая многие бактерии, и в небольших дозах полезно для человека. Кроме прямого действия на ткани кожи (образование защитного пигмента — загара, витамина D_2), ультрафиолетовые лучи влияют на центральную нервную систему, стимулируя ряд жизненно важных функций организма, поэтому их применяют при лечении некоторых заболеваний. Интенсивность ультрафиолетовых лучей у поверхности Земли существенно зависит от концентрации озона в высоких слоях атмосферы, в значительной степени их поглощающих.

Допустимым (безопасным) с биологической точки зрения уровнем энергии фотонов является 12 эВ. Фотоны с большей энергией способны вызывать ионизацию воды и атомов кислорода, водорода, азота, углерода, составляющих основу живых организмов, и, следовательно, опасны для высокоорганизованных биологических систем. Предельно допустимые уровни облученности составляют 5 миллиграмм-эквивалентов радия ($m\text{эр}$) на 1 м^2 для рабочих мест и 400 — в фотарии. Предельно допустимые значения дозы равны $40\text{ мэр}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ на рабочем месте и 20 — в фотарии.

Видимая часть оптического диапазона составляет его незначительную долю. Условно принято считать, что она включает семь основных цветов, хотя резкой разницы между ними нет. В порядке снижения частоты колебаний цвета располагаются следующим образом: фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный. Каждому из них соответствует своя частота, например фиолетовому — $7,5\cdot 10^{14}$ Гц, зеленому — $5,4\cdot 10^{14}$ и красному — $4\cdot 10^{14}$ Гц.

Излучения разных длин волн обуславливают различия не только по цвету, но и по интенсивности их светового восприятия. Наиболее ощущаемым при одном и том же потоке лучистой энергии является зеленый цвет с длиной волны 0,556 мкм. Очевидно также, что волны, меньшие 0,400 мкм (ультрафиолетовые) и большие 0,760 мкм (инфракрасные), не вызывают световых ощущений.

Как и все электромагнитные волны, свет с наибольшей скоростью (300 тыс. км/с) распространяется в вакууме. В воздухе его скорость снижается на 1 тыс. км/с. Гораздо ниже она в воде (225 тыс. км/с). Поскольку при переходе из одной среды в другую частота колебаний электромагнитных волн сохраняется, то это означает, что цветность излучения не изменяется.

Значение света для природы в целом и для человечества в частности невозможно переоценить.

Общеизвестно его тепловое действие. Энергия солнечного излучения значительно превышает используемую всей промышленностью земного шара, достигая $1370 \text{ Дж/с}\cdot\text{м}^2$ поперечного сечения Земли. Наличие или отсутствие тепла определяют скорость биологических процессов в растениях, микроорганизмах, представителях животного мира. Люди используют поглощенное растениями тепло при их приеме в пищу, сжигании или после превращения в ископаемые или синтетические виды топлива.

Решающее значение для существования жизни на Земле имеет *фотосинтез* в растениях, протекающий при участии света. В этом процессе в результате фотохимической реакции солнечная энергия преобразуется в химическую. В его основе лежит уникальная способность растений в присутствии хлорофилла превращать энергию солнечного луча, углекислый газ и воду в органические вещества (сахариды), выделяя при этом кислород (реакция 1.1). Кроме зеленых растений и водорослей, к фотосинтезу способны часть простейших и бактерии (цианобактерии, зеленые, пурпурные, галобактерии).

Выделяемый растениями кислород не только является одним из источников жизнедеятельности организмов, но и защищает все живое на Земле: кислород в верхних слоях атмосферы поглощает ультрафиолетовое излучение с длиной волны $\sim 2 \cdot 10^{-7}$ м и, кроме того, образует защитный слой озона, задерживающий ультрафиолетовое излучение других длин волн.

Человечество обладает не только природными (Солнце, звезды), но и созданными им искусственными источниками света. Последние по способу возбуждения частиц, испускающих свет, можно разделить на три группы.

В первую входят *температурные источники*, в которых свечение возникает за счет повышенного возбужденного состояния атомов и молекул при увеличении температуры вещества (лампа накаливания, горящая спичка, костер и т.п.). Излучение таких источников осуществляется за счет их внутренней энергии.

Ко второй группе относятся *люминесцентные источники*. В них возбуждение атомов и молекул вызывается потоком летящих частиц,

например электронов, внешним электромагнитным полем или химической реакцией, т.е. какими-либо внешними источниками механической, электрической или химической энергии.

В третьей группе свечение обуславливается *эффектом Черенкова*, возникающим при движении частиц, в частности электронов, в плотном прозрачном веществе, например воде, со скоростью, превышающей скорость распространения света в нем. Возбуждаемые атомы прозрачного вещества начинают излучать. При этом скорость распространения излучения, в соответствии с упомянутым эффектом, остается меньшей, чем пролетающей частицы.

Практические приложения видимой части оптического диапазона поистине безграничны и основаны как на ее волновых, так и на квантовых свойствах.

Хорошо известно использование света для получения изображений с помощью сферических зеркал и стекол, различные оптические приборы (проекторные фонари, фотографические аппараты, лупы, микроскопы, бинокли, телескопы). Интерференция света, основанная на его волновых свойствах, применяется в современной науке и технике для точных измерений длины, определения качества обработанной поверхности.

На квантовых свойствах света зиждется использование *фотоэлементов* и явления люминесценции.

Область наибольшего распространения фотоэлементов — звуковое кино (воспроизведение звука) и телевидение (передача изображения). В технике связи фотоэлементы используют в фототелеграфе для передачи неподвижных изображений. В военном деле они необходимы в системах самонаведения снарядов, для сигнализации и локации. В науке их применяют для измерения силы света, яркости и освещенности. Для автоматического управления различными процессами внедряются *фотореле*. Они считают детали на конвейере, контролируют их размеры, запускают и останавливают конвейерные линии, включают и выключают системы освещения.

Явление люминесценции нашло практическое приложение в электронно-лучевых трубках, экраны которых покрывают с внутренней стороны люминофором, т.е. веществом, способным преобразовывать поглощаемую энергию падающего на него пучка электронов в световое излучение. Поскольку последнее не связано с нагревом вещества, люминесценцию иногда называют *холодным свечением*.

Одним из направлений технического прогресса является разработка гелиоэлектростатических источников энергии, для функционирования которых необходим солнечный свет.

И наконец, повсеместно распространено использование световой энергии в разнообразных бытовых и промышленных источниках освещения.

Несмотря на неоценимую роль световой энергии в жизни человека, в некоторых случаях ее неумеренное воздействие может принести ощутимый вред.

С регулярностью чередования дня и ночи, светлых и темных периодов суток связаны многие физиологические ритмы человека. Обычно днем он бодрствует, ночью спит. Нарушение этих связей, например в ночных рабочих сменах, приводит к неполноценному отдыху в дневное время, ухудшению здоровья, увеличению раздражительности и т.п. Аналогичные негативные последствия наблюдают в условиях полярных дней и ночей продолжительностью в несколько месяцев.

Нахождение под палящими лучами Солнца или искусственных источников света приводит к обезвоживанию организма, тепловым ударам и ожогам, увеличению тяжести и числа сердечно-сосудистых заболеваний, летальным исходам, ухудшению зрения и его возможной полной потере. Уровень освещенности на роговице, при которой возникает опасность ожога сетчатки глаза, составляет $2,6 \cdot 10^6$ лк, что соответствует плотности поглощенной энергии $2-6 \text{ Дж/см}^2$ и плотности мощности проникновения в глаз луча 28 Вт/см^2 .

Возможные меры защиты от неблагоприятного действия световой энергии: защитные спецодежда и очки, пребывание в тени или воде, усиление питьевого режима, создание искусственного затенения и, при необходимости сна в дневное время, минимальный уровень звукового фона.

Инфракрасное излучение обладает ярко выраженным тепловым действием, поэтому часто называется *тепловым*. Им обладает любое нагретое тело, даже если оно не светится. На инфракрасный спектр приходится, в частности, максимум энергии излучения электрической дуги и лампочки накаливания.

Инфракрасные лучи слабо поглощаются воздухом и значительно интенсивнее — плотными телами. Эта особенность играет существенную роль в природных процессах теплообмена, способствуя выравниванию температур различных тел на Земле.

Тепловое равновесие наступает, когда температуры участвующих в теплообмене тел становятся одинаковыми, т.е. каждое из них начинает отдавать столько энергии, сколько получает от других. Поэтому зимой, например, когда поверхность Земли излучает в мировое пространство энергии больше, чем получает от Солнца, ее температура начинает понижаться. Летом наблюдается обратное явление. Таким же образом объясняется тот факт, что в безоблачную ночь температура понижается сильнее, чем в облачную. В последнем случае часть излучения Земли отражается облаками на ее поверхность. Меньшей облачностью обуславливается также относительно резкое ночное понижение

температуры в горных местностях по сравнению с равнинными. Наличие в атмосфере примесных газов антропогенного происхождения с большими, чем у ее основных компонентов (азот, кислород) размерами молекул (CO_2 , CH_4 , SO_2 и др.), снижает инфракрасное излучение в мировое пространство. Это может способствовать развитию «парникового» эффекта (разд. 1.6.1).

Сброс теплоты в водные бассейны приводит к повышению их температуры и, как следствие, уменьшению концентраций растворенных в воде кислорода, азота, углекислого газа. Это, в свою очередь, отрицательно сказывается на развитии фауны и флоры (воспроизводство рыб, растений и др.).

В народном хозяйстве инфракрасное излучение используют для сушки, например овощей, фруктов, окрашенных поверхностей автомобилей, в оптических приборах ночного видения (бинокли, прицелы), при фотографировании в темноте и скрытых дымкой (облаками) удаленных предметов. В астрономии инфракрасное фотографирование применяют для определения температуры некоторых звезд и поверхности планет, даже если последняя скрыта плотными облаками, в частности на Венере. Инфракрасные лучи широко используют также при изучении строения молекул вещества.

Санитарные разработки по защите от инфракрасного излучения исходят из того, что большая часть биологического материала для него непрозрачна. Однако наиболее короткие инфракрасные волны могут проникать в кожу на глубину до 5 мм и в прозрачные среды глаза. Если кожа при этом в силу хорошего кровообращения мало подвергается тепловому повреждению, то зрению требуется защита. Ожог радужки глаза может наступить при плотности поглощенной энергии $4,2 \text{ Дж/см}^2$. Необратимые изменения хрусталика возникают при плотности энергии на роговице свыше 10 Дж/см^2 . При этом ощущается боль в роговице и радужной оболочке, так как их температура достигает 47°C .

Санитарные правила для предприятий черной металлургии (№ 2527-82) и ГОСТ 12.4.123-83 допускают уровень плотности потока энергии инфракрасного излучения, равный 2800 Вт/м^2 в присутствии людей без спецодежды и 140 Вт/м^2 — для всего рабочего места.

6.2.3.2. Лазерное излучение

Под лазерным понимают монохроматический, т.е. одной определенной частоты, когерентный (согласованный во времени) и узконаправленный поток электромагнитных волн оптического диапазона, излучае-

мый квантовым генератором. От других источников света его отличает ряд существенных особенностей. Так, узконаправленный лазерный пучок имеет весьма малый угол раскрытия (около 10^{-5} рад). При испускании с Земли на Луну он дает пятно диаметром всего 3 км. Кроме того, лазеры — наиболее мощные источники энергии в оптическом диапазоне. За кратчайший период (до 10^{-11} с) мощность их излучения достигает $5 \cdot 10^{14}$ Вт/см². У Солнца она равна только $7 \cdot 10^7$ Вт/см², причем суммарно по всему оптическому спектру. В узком же интервале, соответствующем излучению светового диапазона, мощность излучения Солнца составляет лишь 0,2 Вт/см². И наконец, напряженность электрического поля в лазерной волне достигает 10^{10} - 10^{12} В/см, что превышает ее внутриатомные значения. В общем случае лазерное излучение может быть создано в диапазоне волн от 0,2 до 1000 мкм, т.е. охватывает ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную области.

Инициирование лазерного пучка основано на следующем. Как известно, возбужденные атомы могут испускать фотоны (кванты) с переходом на более низкий энергетический уровень. Если переход осуществляется самопроизвольно и атомами с различной энергией (скоростью), то излучение будет иметь сплошной спектр длин волн и частот, как это имеет место, например, при температурном излучении нагретого тела.

Однако возбужденный атом может отдать свою энергию в режиме резонанса в виде индуцированных внешним источником электромагнитных волн. Индуцированное излучение возникает, если вблизи возбужденного атома пролетает квант с частотой колебаний, совпадающей с той, которую может испустить этот возбужденный атом. В таком случае взаимодействие пролетающего кванта с атомом приводит к испусканию последним нового кванта, не отличающегося от пролетающего. При этом волны индуцированного излучения совпадают по фазе.

Все конструкции лазерного аппарата состоят из рабочего тела (активная среда), лампы накачки (источника) и зеркального резонатора.

Рабочее тело может быть твердым (кристаллы искусственного рубина с добавками хрома, некоторые соли вольфрамовой и молибденовой кислот, стекла с примесью редкоземельных и других элементов), жидким (пиридин, бензол, толуол, бромнафтал, нитробензол и т.п.) и газообразным (смесь гелия и неона, гелия и паров кадмия, аргон, криптон, углекислый газ и т.д.). Атомы рабочего тела переводятся в возбужденное состояние световой энергией или потоком электронов, радиоактивных частиц, химической реакцией.

В качестве примера рассмотрим принцип работы рубинового лазера (рис. 6.2), созданного одним из первых (1960 г.). Из кристалла искусственного рубина с примесью около 0,05% хрома изготавливают стержень с плоскопараллельными гладко отполированными торцами.

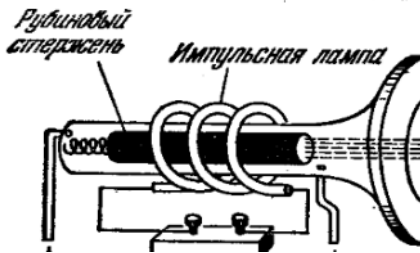


Рис. 6.2. Схема устройства рубинового лазера

Один из них покрыт серебром, зеркален и непрозрачен, другой прикрит полупрозрачным зеркалом. Световое излучение лазера создается атомами хлора, для возбуждения которых служит лампа накачки — мощная импульсная газоразрядная трубка, спиралью закрученная вокруг стержня и дающая сине-зеленый свет. Мощная вспышка лампы, получившей кратковременный импульс тока от

батареи конденсаторов, переводит большинство атомов хрома в возбужденное состояние, и они начинают испускать волны во всевозможных направлениях. Те из них, которые идут под углом к оси кристалла, выходят из него и в дальнейшем никакой роли не играют. Однако волна, идущая вдоль оси кристалла, многократно отражаясь торцовыми зеркалами, опять попадает в него, возбуждая новые атомы. Процесс нарастает лавинообразно, световой импульс становится настолько мощным, что часть света проходит через полупрозрачное стекло наружу, образуя чрезвычайно интенсивное монохроматическое когерентное излучение (лазерный луч). Таким образом, возбужденные атомы хрома служат атомными резонаторами, реагируя только на фотоны определенной частоты, а рубиновый стержень в целом представляет собой объемный резонатор, создающий индуцированное излучение. Для усиления последнего расстояние между зеркальными торцами стержня содержит целое число полуволн светового излучения лазера.

За промежуток порядка долей миллисекунды все возбужденные атомы хрома переходят в нормальное состояние, излучение лазера прекращается. Работая в *импульсном режиме*, рубиновый лазер испускает короткие, но очень мощные вспышки красного цвета. При этом выделяется много тепла и необходимо охлаждение аппарата.

Следует отметить, что первые квантовые генераторы были созданы советскими физиками А.М.Прохоровым и Н.Г.Басовым и одновременно американским физиком Ч.Х.Таунсом в 1954 г. В качестве рабочего вещества в них использовали аммиак. Важность разработки этих ученых была оценена Нобелевской премией по физике (1964 г.). В настоящее время квантовые генераторы подразделяют на собственно лазеры (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation — усиление света при помощи вынужденного излучения) и *мазеры* (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation — усиление микроволн при помощи вынужденного излучения). Лазер излучает в

видимой и инфракрасной частях оптического диапазона, а лазер — в микроволновой (ультрафиолетовой). Принцип работы этих квантовых приборов одинаков.

Дадим краткую характеристику лазеров, различающихся *видом активного вещества и способом накачки*.

В твердотельных лазерах в настоящее время для возбуждения активного вещества используют импульсные ксеноновые лампы. В режиме свободной генерации в этих лазерах длительность импульса 0,1-1 мс, с энергией до 1000 Дж и более, мощностью импульса до 10^{12} Вт и выше, КПД около 1-10%, углом расходимости луча 20-30%. Кроме импульсного, возможен также непрерывный режим работы твердотельного лазера. Из-за высоких мощностей твердотельные лазеры представляют значительный интерес в области взаимодействия излучения с веществом.

Газовые лазеры характеризуются малым углом расходимости луча (1-3°). Наибольшее распространение получили приборы на смеси гелия и неона и на углекислом газе. Мощность первых невелика и составляет десятки или сотни милливатт. Лазеры на углекислом газе, напротив, характеризуются большой мощностью (сотни ватт в непрерывном режиме) и высоким (20-30%) КПД.

Мощность газовых лазеров можно еще более повысить, используя для возбуждения активного вещества энергию сгорания окиси углерода в специальной камере. Последующее расширение и адиабатическое охлаждение сверхзвуковых газовых потоков, нагретых до нескольких тысяч градусов и истекающих из камеры, позволяет плучить мощность генерации в импульсе до сотен киловатт. Лазеры такого типа называют *газодинамическими*.

С помощью газовых лазеров получено индуцированное излучение в широчайшем диапазоне (от вакуумного ультрафиолета до инфракрасной области), достигнуты значительные энергии и мощности как в импульсном, так и в непрерывном режимах работы. Благодаря этим уникальным сочетаниям свойств газовые лазеры нашли самое широкое применение в различных областях науки и техники.

В полупроводниковых лазерах — тоже твердотельных, но выделяемых в отдельную группу, — активным веществом является полупроводниковый кристалл размером около 1 мм^3 (ZnS, ZnSe, сульфиды, селениды и теллуриды кадмия и свинца, др.). Резонатор лазера образован торцевыми поверхностями кристалла. Возбуждение лазера осуществляется электрическим током, проходящим через кристалл. Максимальная мощность составляет около 100 Вт в импульсном режиме и несколько ватт в непрерывном. Угол расходимости луча равен нескольким градусам. Главное достоинство полупроводниковых лазеров — высокий КПД

(от десятков процентов до величины, близкой к 100%). Они нашли широкое применение в вычислительной технике, телевидении, оптической локации, голографии и специальных разделах оптики.

В жидких лазерах в качестве активного вещества используются обычно органические красители, под которыми понимаются соответствующие соединения, обладающие определенными спектральными свойствами. Возбуждение активного вещества осуществляется или когерентным излучением другого лазера, или некогерентным излучением импульсных ламп. Особенность жидких лазеров — возможность при соответствующем выборе активного вещества получить когерентное излучение с волной почти любой длины — от 0,34 до 11,75 мкм. Энергия излучения в импульсе — до 10 Дж.

Очень важным преимуществом жидкостных лазеров является возможность непрерывной перестройки частоты генерации в диапазоне нескольких сотен ангстрем. Это достигается либо изменением свойств раствора или параметров резонатора, либо введением в резонатор селектора длин волн (дифракционной решетки). Такое достоинство особенно ценно в лазерохимии (стимулирование и управление химическими реакциями), в специальных разделах оптики (*Куклев*).

В дополнение к отмеченным выше отметим другие широкие области применения лазеров.

Их используют для сверхточного измерения расстояния, при прокладке тоннелей и трубопроводов, в навигации, в военном деле (лазерные прицелы, лазерное оружие). В лазерном луче испаряются тугоплавкие материалы, поэтому он пригоден для получения тончайших отверстий в керамике, сверхтвердых сплавах, алмазах, полупроводниковых материалах, для резки и сварки. Высокую направленность пучка лазеров применяют для радиолокации Луны (с точностью до сантиметра), Венеры, Марса.

Когерентность лазерного излучения позволяет использовать его, как и любую электромагнитную волну, для передачи информации. Поскольку с увеличением частоты волны объем информации, которую она может передать, увеличивается, то лазерный луч переносит информацию в тысячу раз большую, чем радиоволны. Особенно значительно преимущество оптических систем связи в космосе, где отсутствует поглощение света облаками.

С помощью лазеров получают объемные изображения предметов (голография).

Лазерные лучи применяют в медицине в качестве скальпеля при тончайших хирургических операциях, для достижения противовоспалительных и стимулирующих эффектов. С их помощью пытаются осуществить термоядерную реакцию, для реализации которой требуется температура по-

рядка 100-200 млн градусов. Излучение оптического квантового генератора используют для спектроскопических исследований электронной оболочки атомов и молекул, для определения состава различных сред.

Вместе с тем эксплуатация различных лазерных систем порождает ряд факторов, неблагоприятных для окружающей среды:

высокое напряжение зарядных устройств, питающих батареи импульсных конденсаторов. После их разряда на лампы вспышки они могут сохранять электрический заряд высокого потенциала;

слепающий свет лампы накачки;

вредные химические примеси в воздухе рабочего помещения, образующиеся при разрядке импульсных ламп накачки (озон, оксиды азота) и испарении материала мишени (монооксид углерода, свинец, ртуть и др.);

интенсивный шум, достигающий в момент работы лазера 70-80 дБ при средних его частотах и 95-120 дБ при частоте 1000-1250 ГГц;

воздействие магнитных полей высокой или ультравысокой частоты;

ультрафиолетовое излучение импульсных ламп и газоразрядных трубок.

По степени опасности лазеры, в зависимости от наличия тех или иных неблагоприятных факторов, подразделяют на 4 класса — от первого (малоопасного) до высокоопасного четвертого (СН 5804.91). Работа установок 4-го класса сопровождается всеми отмеченными выше неблагоприятными факторами, 3-му классу сопутствуют электрическое напряжение, световое излучение импульсных ламп или газового разряда, шум, вибрация, лазер 1-2-го классов опасен по электрическому напряжению.

Лазерное излучение не встречается в естественных условиях, поэтому его биологическое воздействие на любой животный организм является раздражителем, по отношению к которому нет эволюционно выработанных механизмов защиты. Под его влиянием в живом организме в целом возникает совокупность структурных, функциональных, биохимических и иммунологических изменений. При этом степень биологического действия лазера зависит от ряда факторов: мощности и продолжительности излучения, длины волны, частоты следования импульсов, величины облучаемой поверхности и др. Можно выделить термическое и нетермическое действия излучения, имеющие соответственно первичный и вторичный характер.

Термические эффекты, вызываемые лазерами непрерывного действия, имеют много общего с обычным нагревом. Под влиянием лазеров, работающих в импульсном режиме, в облучаемых тканях происходит нагрев и мгновенное вскипание жидких сред, что приводит к механическим повреждениям тканей. Отличительной чертой лазерного ожога является резкое ограничение пораженной области от смежной, интактной.

Особенно опасно термическое повреждение сетчатой оболочки глаза, приводящее к глубокому и стойкому нарушению зрения. Излучение поглощается и другими элементами глаза, в частности сосудистой оболочкой, но в меньшей степени.

Лазерное излучение вызывает также повреждение кожи. Пигментированная кожа поглощает его значительно интенсивнее, чем светлая. Отсутствие пигментации способствует более глубокому проникновению лазерных лучей в кожу и далее вглубь, поэтому поражение в данном случае может носить более выраженный характер.

Вторичные нетермические эффекты сводятся к неспецифическим изменениям в организме, обусловленным его реакцией на облучение электромагнитным полем, а также электрическим и фотохимическим эффектами. При этом вероятны функциональные расстройства центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, неврозы, патология вегетативно-сосудистой системы. Сердечно-сосудистые расстройства могут проявляться дистонией по гипотоническому или гипертоническому типу, нарушением мозгового кровообращения. Наблюдаются также изменения липидного, углеводородного, белкового обменов и др.

За ПДУ лазерного излучения на роговице, сетчатке глаза и коже принимают уровни, исключающие возникновение первичного биологического эффекта для всего возможного спектрального диапазона лазерного излучения и вторичных эффектов — для видимой области спектра. Они зависят от тех же факторов, что и степень биологического действия лазера. Кроме того, в диапазоне $0,4 \cdot 10^{-6}$ - $1,4 \cdot 10^{-6}$ м ПДУ зависят от углового размера источника облучения или от диаметра пятна на сетчатке, диаметра зрачка глаза, а в интервале $0,4 \cdot 10^{-6}$ - $0,75 \cdot 10^{-6}$ м — дополнительно от фоновой освещенности роговицы. ПДУ имеются как для моноимпульсных непрерывных, так и для импульсно-периодических лазерных излучений. Для каждого из них разработаны ПДУ в зависимости от спектра и объекта облучения.

Безопасная работа на лазерных установках предусматривает выполнение определенных требований к технологическому процессу, размещению оборудования и организации рабочих мест. В частности, должно быть обеспечено дистанционное управление и размещение в отдельных помещениях установок с лазерами 4-го класса; в технологических процессах необходимы, как правило, установки закрытого типа. Для исключения облучения персонала нужно ограничивать лазерно-опасную зону или экранировать пучок излучений огнестойким светопоглощающим материалом. Конструкция лазерных установок предусматривает также защиту персонала от радиочастотных волн, ионизирующей радиации. Естественное и искусственное освещение должно соответствовать действующим нормам.

Если излучение лазера сопровождается выделением вредных газов, паров и аэрозолей, то на рабочих местах оборудуется вытяжная вентиляция.

Для предотвращения поражения электрическим током используются различные дистанционные управления, блокировки, автоматические замыкатели, сигнализация и защитные средства. Элементы установок, находящихся под напряжением, ограждаются, а их металлические корпуса заземляются. Предусматривается также защита работающих от электромагнитных полей и шума.

При эксплуатации лазеров 2-4-го классов персоналу запрещается осуществлять наблюдение за ними без средств индивидуальной защиты и размещать в зоне лазерного пучка предметы, зеркально отражающие излучение, если это не связано с технологической необходимостью. В качестве индивидуальных средств защиты применяются очки со светофильтрами, а при работе с установками 4-го класса — защитные маски.

К работе с лазером допускаются только лица старше 18 лет.

6.2.4. Радио- и низкочастотные волны

Эти излучения охватывают диапазоны частот от сотых долей герца до инфракрасных (табл. 6.3).

Таблица 6.3
Характеристика радио- и низкочастотных волн (Жилов...)

№ диап- зона	Диапазон частот	Диапазон волн	Частота колебаний	Длина волны
1		Инфранизкие	0,03-0,3 Гц	10^7-10^6 км
2	Низкие (НЧ)	Низкие	0,3-3 Гц	10^6-10^5 км
3		Промышленные	3-300 Гц	10^5-10^3 км
4		Звуковые	300 Гц-30 кГц	10^3-10 км
5	Высокие (ВЧ)	Длинные	30-300 кГц	10-1 км
6		Средние	300 кГц-3 МГц	1 км-100 м
7		Короткие	3-30 МГц	100-10 м
8	Ультравысокие (УВЧ)	Ультракороткие	30-300 МГц	10-1 м
9	Сверхвысокие (СВЧ)	Дециметровые	300 МГц-3 ГГц	100-10 см
10		Сантиметровые	3-30 ГГц	10-1 см
11		Миллиметровые	30-300 ГГц	10-1 мм
12	Гипервысокие (ГВЧ)	Децимиллиметровые	300-3000 ГГц	1-0,1 мм

К радиочастотному, в соответствии с ГОСТом 24375-80, относится диапазон от 3 кГц до 3000 ГГц. По регламенту радиосвязи, принятому Международным консультативным комитетом, радиочастоты охватывают номера диапазонов 5-11. Диапазоны 1-4 характеризуют низкочастотные электромагнитные волны промышленных частот.

Невозможно перечислить все известные в настоящее время области использования радио- и низкочастотных волн, отметим лишь основные.

Работа с источниками СВЧ осуществляется в радиолокации и радионавигации, радиоастрономии; в гидрометеорологии для обнаружения, наблюдения и определения места расположения облачных систем, грозовых облаков; в радиорелейной связи. Это же так называемое (за рубежом, в частности) микроволновое излучение используется в промышленных технологиях сушки пищевых продуктов, литейных материалов, огнеупоров, древесины, для ускорения твердения бетонов, оттаивания и термоупрочнения грунтов и т.д. (Применение..., 2002).

УВЧ-частоты применяют в радиосвязи, радиовещании, телевидении, в медицине в физиотерапевтических кабинетах для индуктотермии (воздействие на организм магнитных полей высокой частоты) и диатермии (прогрев тела, в том числе глубокий, токами высокой частоты).

Индукционный нагрев электромагнитными полями частот 60 кГц-20 МГц и более низких (1-12 кГц) используют для перевода вещества в плазменное состояние, плавки металлов, термообработки заготовок, металлических изделий, элементов электровакуумных приборов. Диэлектрический нагрев частотами 3-150 МГц на установках 1-30 кВт внедрен для сушки влажных и нагрева, сварки, плавки терморезистивных материалов, включая пластмассы, клеи древесины.

Энергетические импульсы низких частот применяют для штамповки, прессовки, соединения различных изделий; литья, в технологических и бытовых осветительных и нагревательных приборах; электро-транспорте, энергетических установках.

Воздействие на организм рассматриваемых ЭМП зависит от их частот, интенсивности, продолжительности, характера и режима облучения (постоянного, аperiodического, интермитирующего). Преобладающее влияние оказывают радиочастоты большой интенсивности. В этом случае общее биологическое действие проявляется в тепловом эффекте, который либо повышает температуру всего тела, либо избирательно нагревает отдельные ткани или органы. Те из них, которые в меньшей степени снабжены кровеносными сосудами (хрусталик глаза, желчный и мочевой пузыри), чувствительнее к локальному перегреву. В наибольшей степени воздействие радиоволн сказывается на центральной нервной и сердечно-сосудистой системах. В последней первоначально возникают приступы пароксизмальной тахикардии, а затем

может возникнуть сосудистая гипотония, имеют место случаи гипертонии. Нарушения в крови сводятся в основном к развитию умеренного лейкоцитоза. Не исключено также появление катаракты — как при кратковременном облучении, так и при длительном воздействии невысоких уровней поверхностной ППЭ, выражаемой в Вт/м² и аналогичных единицах. Длительное воздействие ЭМП радиочастотного диапазона нарушает сперматогенез у мужчин и является весьма существенным фактором риска развития бесплодия (*Влияние...*).

В целом совокупность нарушений, вызванных в организме действием волн СВЧ-диапазона, известна как радиоволновая болезнь. Основные ее симптомы: ощущение тупой, ноющей, весьма стойкой головной боли, нарушение сна, повышенная раздражительность, нервозность, беспричинное беспокойство, вспыльчивость и резкость поведения. Это профессиональное заболевание возникает только при грубых нарушениях правил технической эксплуатации соответствующих приборов или превышении допустимых уровней облучения.

Наиболее существенные источники радио- и низкочастотных волн в народном хозяйстве — это линии электропередач высокого и сверхвысокого напряжения, радио- и телевизионные станции, радиолокационные и навигационные средства, системы сотовой, мобильной, спутниковой связи, электротранспорт и др. В быту загрязняют окружающую среду радио- и телеаппаратура, компьютерная техника, электроприборы. Их влияние может быть достаточно ощутимым. Например, на расстоянии 3 см магнитная индукция (плотность потока) при работе фена составляет 2 тыс. мкТ, электробритвы — 1,5 тыс. мкТ (естественный геомагнитный фон равен всего 30-60 мкТ).

Приведем примеры негативного влияния отдельных видов электромагнитных полей на население.

Значительно превышают норму излучения от некоторых военных объектов. В Московской области их уровень больше допустимого в 2-10 раз в Можайском районе, в 8-9 раз — в Каширском, в 15 раз — в поселке Руднево. В Архангельской области воздействию повышенных уровней ЭМП подвергаются жители поселков искателей Ненецкого округа. Возрастание мощности радиолокаторов различного назначения и использование остронаправленных антенн кругового обзора значительно увеличили интенсивность излучения СВЧ-диапазона, создав на местности зоны большой протяженности с высокой ППЭ. Наиболее неблагоприятные условия отмечены в жилых районах городов, в черте которых размещены аэропорты (Иркутск, Сочи, Ростов-на-Дону и др.).

Достаточно достоверно определено влияние теле- и радиобашен. В этом плане интересны результаты обследования в Бирмингеме (Англия). Вещание здесь ведется на восьми телевизионных каналах с об-

щей мощностью передатчиков 1000 кВт и на трех радиоканалах УКВ (FM) мощностью 250 кВт. Высота мачты 240 м, жилая застройка начинается в 200 м от комплекса. Выявлено, что в полукilометровой зоне вокруг башни заболеваемость жителей лейкемией в 1974-1986 гг. оказалась в 10 раз, а в зоне 1-3 км — в 1,5-2,5 раза большей, чем среди остального населения города. Лишь на расстоянии свыше 6 км смертоносное влияние башни исчезало. При этом максимальные уровни излучения вблизи поверхности земли у телебашни составляли 1,3 мкВт/см² для TV-сигнала и 5 мкВт для радиосигнала FM, что является стандартным для электромагнитной обстановки вокруг излучающих устройств.

Связь повышенного уровня заболеваний лейкемией с наличием радиопередающих устройств в 1980-1996 гг. неоднократно устанавливалась и для других мест: Портленд (США), Гавайи, Польша, Сидней (Австралия) и др.

Отрицательное воздействие радиочастот определяется не только мощностью источников, но и их расстоянием до объекта. Передатчик в 5 кВт на расстоянии 100 м создает такую же интенсивность облучения, как и в 100 кВт — на расстоянии 2 км.

Менее исследовано влияние на человека ЭМП низких и сверхнизких частот (от тысячных долей до десятков герц). Между тем в электропоездах, например, напряженность переменного магнитного поля достигает 10 мТ, т.е. ее уровень превышает естественный фон в сотни раз. Появляется все больше доказательств того, что значительная часть случаев инфаркта миокарда в крупных городах может быть вызвана мощными низкочастотными ЭМП. Их фон, ставший привычным для крупного города, соответствует уровню высокой естественной геомагнитной активности (магнитной буре).

У людей, проживающих вблизи линий электропередач и трансформаторных подстанций, могут возникать изменения функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой, нейрогуморальной и эндокринной систем, нарушаются обменные процессы, иммунитет и воспроизводительная функция.

В настоящее время появились данные о влиянии на здоровье людей не только переменных, но и постоянных ЭМП и геомагнитных возмущений.

Воздействие постоянного магнитного поля (ПМП) на работающих обнаружено при обследовании обслуживающего персонала калютронов — установок, используемых при электромагнитном способе разделения изотопов. Выявлено, что ПМП имеет неоднородный характер: в пределах 2,5 м от контура установки отмечается понижение магнитной индукции от 0,175 Т до нуля.

На начальных стадиях магнитного воздействия наблюдается неустойчивость регуляторных систем кровообращения с наклоном к гипертензии и коллапсоидным состояниям. На последующих стадиях магнитного воздействия фиксируются уже стойкие изменения регуляторных систем и содержания ионов кальция, натрия, калия в крови (Сыромятников).

Влияние геомагнитных возмущений, связанных с изменением солнечной активности, установлено по данным анализа в г. Свердловске 3000 случаев за 1960-1966 гг. Показана статистически достоверная зависимость между индексом геомагнитного возмущения и увеличением заболеваемости, летальных исходов по инфаркту миокарда, инсультам, скоропостижным смертям в течении всех лет наблюдения. Часть этих данных представлена ниже (Гневыхшев...):

Индекс геомагнитного возмущения, с	0	0,5	1	1,5	2
Смертность от инфаркта миокарда	1,0	1,2	1,58	3,36	3,43
Смертность от инсульта	1,0	1,0	1,50	3,90	—

Здесь 0 — невозмущенные дни; 0,5 и 1 — минимальная геомагнитная активность.

Известно также, что 70% всех смертей по причине инфаркта миокарда приходится на недели, когда наблюдались магнитные бури, и только 30% — на периоды спокойного магнитного поля Земли (Куклев). При этом наибольшие уровни заболеваемости и смертности фиксируются в день геомагнитного возмущения и в последующие 24-28 ч.

В целом уровни ЭМИ антропогенного происхождения в настоящее время в десятки тысяч раз превышают естественный фон. В частности, за вторую половину 20 в. мощность радиоизлучения объектов гражданского назначения увеличилась более чем в 50 тыс. раз. Масштабы электромагнитного загрязнения стали настолько существенными, что ВОЗ включила эту проблему в число наиболее актуальных для человечества. Ее эксперты полагают, что по влиянию на состояние здоровья населения ЭМИ выходят на уровни, характерные для нынешнего загрязнения окружающей среды вредными химическими веществами. При сохранении имеющихся темпов роста, в том числе по количеству и мощности источников излучения, электромагнитное загрязнение может превзойти химическое.

Гигиеническое нормирование электрических и магнитных полей ведется отдельно: первых — по величине напряженности E (В/м) и продолжительности действия, вторых — по напряженности H в амперах на метр (А/м).

Санитарные правила и нормы устанавливают ПДУ воздействия ЭМИ на людей в диапазоне 30 кГц-300 ГГц. В соответствии с вышесотмеченным, оно оценивается двумя параметрами: предельно допустимой энергетической экспозицией (ЭЭ) и значениями интенсивности ЭМИ радиочастот. Первый из них применяется для лиц, деятельность или обучение которых связаны с необходимостью пребывания в зонах влияния источников ЭМИ (профессионалы). Второй параметр используют для всех остальных категорий людей, не связанных с работой на средствах радиоизлучения, но вынужденных находиться в зоне их действия (непрофессионалы).

Интенсивность ЭМИ оценивается: в диапазоне частот 30 кГц-300 МГц — значениями напряженности электрического и магнитного полей, в диапазоне 300 МГц-30 ГГц — величиной ППЭ. Регламентированные значения величин ЭЭ и интенсивности ЭМИ приведены в табл. 6.4 и 6.5.

Таблица 6.4

Предельно допустимые значения энергетической экспозиции

Диапазон частот	E, (В/м) ² ·ч	H, (А/м) ² ·ч	ППЭ, (мкВт/см ²)·ч
30 кГц-3МГц	20000	200	—
3-30 МГц	7000	Не разрабо- таны	—
30-50 МГц	800	0,72	—
50-300 МГц	800	Не разрабо- таны	—
300 МГц-300 ГГц	—	—	200

Таблица 6.5

Максимально допустимые значения интенсивности ЭМИ

Параметр	30 кГц- 300 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	300 МГц- 300 ГГц
E _{пду} , В/м	500	396	80	—
H _{пду} , А/м	50	3	3(30-50 МГц)	—
ППЭ _{пду} , мкВт/см ²	—	—	—	1000

Предельно допустимые уровни интенсивности ЭМИ радиочастотного диапазона для территории жилой застройки, мест отдыха, помещений, рабочих мест лиц до 18 лет и беременных женщин установлены меньшими, чем для рабочей зоны, и составляют, В/м:

Частота	30-300 кГц	0,3-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	0,3-300 ГГц
$E_{\text{пду}}$	25	15	10	3	ППЭ 10 мкВт/см ²

Допустимая длительность пребывания работающих без средств защиты в электрическом поле снижается по мере возрастания его напряженности. При 5 кВ/м она не ограничивается, но при 25 кВ/м составляет только 5 мин. При более высокой напряженности работа должна производиться с применением мер защиты. Безопасная величина напряженности электрического поля снижается также с повышением частоты электромагнитных волн, равняясь, например, 50 кВ/м при 60 кГц-3 МГц и 5 В/м при 50-300 МГц.

Аналогичным образом допустимая магнитная составляющая достигает 5 А/м для частот 60 кГц-1,5 МГц и всего 0,3 А/м при 30-50 МГц.

ПДУ ППЭ в диапазоне 300 МГц-300 ГГц зависят от продолжительности воздействия. Пребывание в течение всего рабочего дня возможно при ППЭ не более 0,1 Вт/см² и ограничено 20 минутами при 10 Вт/м².

ПДУ напряженности ЭМП, создаваемых линиями электропередачи низкочастотных токов промышленной частоты, санитарными нормами и правилами предусматриваются следующими, кВ/м: внутри жилых зданий — 0,5; на территории зоны жилой застройки — 1; в населенных пунктах вне зоны жилой застройки — 10, в ненаселенной местности, часто посещаемой людьми, — 15; в труднодоступной для людей местности — 20.

Для безопасной работы с источниками ЭМИ необходимы организационные, инженерно-технические, лечебно-профилактические меры и средства защиты.

Основной способ защиты от электромагнитных полей в окружающей среде — расстояние. На селитебной территории планировочные решения при размещении радиотехнических объектов (РТО) и источников низкочастотных излучений выбирают с учетом мощности передатчиков, характеристики направленности, высоты размещения и конструктивных особенностей антенн, рельефа местности, функционального назначения прилегающих территорий, этажности застройки. Площадка РТО оборудуется в согласии со строительными нормами и правилами, на ее территории не допускается размещение жилых и общественных зданий.

Вокруг антенных сооружений различного назначения должны создаваться СЗЗ и зоны ограниченной застройки в соответствии с СН 245-71.

СЗЗ представляют собой площадь, примыкающую к технической территории РТО. Ее внешняя граница определяется на высоте 2 м от поверхности земли и на расстоянии, при котором достигаются ПДУ электромагнитных полей, приведенные в нормах.

Зона ограниченной застройки определяется как территория, где на высоте 2 м от поверхности земли ПДУ превышены. Внешнюю границу этой зоны находят на максимальной высоте зданий перспективной застройки, на уровне верхнего этажа которых ПДУ электромагнитного поля не превышены.

Границы СЗЗ мощных (более 100 кВт) радиостанций зависят от их частотности и составляют не менее, м: для длинноволновых станций — 480; средневолновых — 960; коротковолновых — 4500. Санитарно-защитная зона радиолокационных станций может достигать 28 км, а телевизионных центров мощностью более 200 кВт — 500-100 м (Электромагнитная..., Плескачева...).

СЗЗ устанавливаются также для высоковольтных линий (ВЛ) электропередач (СНиП № 2971-84):

Напряжение, кВ	1150	750	500	330	220	110	35	До 20
СЗЗ, м	300 (55)	250 (40)	150 (30)	75 (20)	25	20	15	10

Значения, данные в скобках, допускаются в порядке исключения в сельской местности. На территории СЗЗ ВЛ напряжением 750 кВ и более запрещается проведение сельскохозяйственных и других работ лицами в возрасте до 18 лет.

Для ограничения воздействия промышленных ЭМП на окружающую среду необходимо использовать средства, предусмотренные ГОСТ 12.1.006-84 к применению непосредственно в цехах предприятия: экранирование оборудования — источника поля, использование поглотителей мощности (облицовка потолка и стен рабочих помещений материалами с большим содержанием углерода). Экранирование — один из основных методов защиты от низкочастотных и радиоизлучений. Оно может быть полным или частичным. Для него пригодны главным образом материалы с высокой электрической проводимостью (медь, латунь, алюминий и его сплавы), применяемые в виде листов или сеток. Экранирующие устройства необходимо заземлять, подсоединяя их к контуру заземления или заземленным объектам.

Для защиты от воздействия ЭМП можно использовать индивидуальные средства. При промышленной частоте ЭМП (50 Гц) индивидуальный защитный комплект включает костюм из металлизированной ткани, экранирующий головной убор и специальную обувь с элек-

тропроводящей подошвой или целиком выполненную из электропроводящей резины. При низкой проводимости грунта, когда комплект практически изолирован от «земли», все его элементы дополнительно заземляются. Для защиты глаз от действия СВЧ-излучения используют специальные очки, стекла которых покрыты тонким слоем металла или его соединений (Au, SnO₂).

Женщины в период беременности и лактации должны переводиться на другие участки. Лица до 18 лет к работе с генераторами радиочастот не допускаются.

Нормированию подлежит также вся бытовая и компьютерная техника. Общие рекомендации по ее безопасности:

использовать электроприборы и персональные компьютеры (ПК) с меньшим уровнем электропотребления, что снижает уровень ЭМП;

размещать приборы, работающие длительное время (холодильник, телевизор, СВЧ-печь, электропечь, электрообогреватели, ПК, воздухоочистители, аэроионизаторы), на расстоянии не менее 1,5 м от мест постоянного пребывания или ночного отдыха, особенно детей;

заземлять ПК и приборы на контур заземления здания. Нельзя заземлять на батарею отопления, водопроводные трубы, «ноль» розетки;

использовать приборы с автоматическим управлением, что позволяет не находиться рядом с ними во время работы.

6.3. Радиоактивный распад

Радиоактивные вещества широко применяются во многих отраслях народного хозяйства. Искусственные радиоактивные изотопы используют для дефектоскопии металлов, при изучении структуры и износа материалов, разделении веществ и синтезе химических соединений, в аппаратах и приборах медицинского назначения, в качестве меченых атомов (для определения растворимости весьма мало растворимых веществ, исследования фотосинтеза растений, процессов кровообращения и т.д.). В археологии меченые атомы позволяют определять возраст ископаемых растений и животных (радиоуглеродный метод). Однако наиболее существенно для человечества применение радиоактивных веществ для производства электроэнергии (АЭС) и атомного оружия.

Распад радиоактивных веществ сопровождается их ионизирующим излучением, под которым понимают потоки частиц (корпускул) и электромагнитных квантов, возникающих при ядерных превращениях. Чаще всего встречаются такие разновидности ионизирующих излучений, как гамма- и рентгеновские, потоки α -частиц, электронов и ней-

тронов. Природа рентгеновского и γ -излучения рассмотрена ранее (разд. 6.2.2).

Альфа-частицы представляют собой положительно заряженные ядра атомов гелия. Они имеют незначительный пробег во всех средах (в воздухе — 20-110 мм, в биологических тканях — 30-150, в алюминии — 10-69 мм), создавая на своем пути ионизацию большой плотности. Воздействие их сказывается в основном при внутреннем облучении, т.е. при попадании в организм.

Бета-частицы являются потоком электронов. Их пробег в воздухе составляет несколько метров, в тканях человека — около 1 см, в металлах — 1 мм. Энергия, теряемая ими при прохождении через вещество, расходуется на возбуждение и ионизацию, а также на образование тормозного (электромагнитного) излучения. Удельная ионизирующая способность β -частиц меньше, чем α -частиц, но выше, чем γ -излучения, их воздействие на организм может проявляться как при внешнем, так и при внутреннем облучении.

Нейтроны не имеют электрических зарядов, поэтому их поток обладает большой проникающей способностью. Медленные, или тепловые, нейтроны вступают в ядерные реакции, в которых могут образоваться стабильные или радиоактивные изотопы.

Естественными радиоактивными элементами являются ряды тория, урана и актиния. В процессе их распада образуется целый ряд новых радиоактивных элементов, испускающих α - и β -частицы, ЭМИ.

Для характеристики радиоактивного излучения введен ряд понятий, основанных на его ионизационном действии: доза рентгеновского и γ -излучения, мощность дозы, поглощенная доза излучения, радиевый эквивалент препарата, биологический эквивалент дозы, активность радиоактивного изотопа, удельная активность и активная концентрация.

Доза рентгеновского и γ -излучения определяется в рентгенах (разд. 6.2.2). Она характеризует не источник излучения, а его ЭМП в определенном месте, участке.

Мощность дозы измеряется в рентгенах в секунду.

Поглощенная доза — это энергия ионизирующего излучения, воспринимаемая единицей массы любого неживого облучаемого вещества, измеряется в *радах*. Рад — поглощенная доза излучения, равная 0,01 Дж на килограмм облученного вещества. В системе СИ единицей поглощенной дозы является 1 Дж/кг, получивший название *грей* (Гр). Таким образом, 1 Гр равен 100 радам.

Радиевый γ -эквивалент препарата — величина, введенная для сравнения радиоактивности различных веществ, дающих γ -излучение. За единицу, по которой оцениваются все другие препараты, принят

1 мг радия — миллиграмм-эквивалент радия (мэр), иногда — 1 г радия, или ГЭР.

Определения «биологический эквивалент дозы» и «эффективная доза излучения» рассмотрены в разд. 6.2.2.

Размерность эквивалентной дозы ионизирующего излучения совпадает с размерностью поглощенной дозы. Поэтому:

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} \cdot 1 (k=1) = 100 \text{ рад} \cdot 1 (k=1) = 100 \text{ бэр}, \quad (6.5)$$

где k — безразмерный коэффициент качества излучения.

Величина k для различных видов ионизирующего излучения: рентгеновское, γ - и β -излучения, электроны, позитроны — 1; нейтроны, в зависимости от энергии, — 5-20; альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра — 20.

Активность радиоактивного изотопа связана с количеством актов распада в нем за единицу времени. За единицу активности принят 1 кюри (Ки). Активность, равная 1 Ки, означает, что в веществе за 1 с происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ актов распада. Это соответствует активности 1 г чистого радия. В международной системе единиц активность измеряется в беккерелях (Бк); 1 Бк соответствует активности нуклида, в котором за 1 с происходит один акт радиоактивного распада. В этом акте может выделяться как β -частица, так и γ -квант и другие виды ионизирующего излучения. Таким образом, 1 Ки составляет $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Удельная активность выражается в единицах активности на единицу массы радиоактивного вещества (Ки/г, Ки/моль, Бк/кг, Бк/моль).

Активная концентрация в воздухе и воде выражается в Ки/л, Бк/л и их производных.

Ионизирующее излучение оказывает влияние на организм как при внешнем (особенно гамма- и рентгеновском), так и при внутреннем (особенно альфа-) облучении.

Поражающее действие γ - и рентгеновского излучений рассмотрено ранее (разд. 6.2.2).

Защиту от радиоактивного воздействия веществ нормируют отдельно для жилых и промышленных зон.

В соответствии с НРБ-99 лица, непосредственно не работающие с источниками ионизирующего излучения, делятся на категории Б и В. Категория Б, в зависимости от условий своего проживания или от размещения рабочих мест на предприятии, может попадать под воздействие радиоактивных веществ или других источников излучения, используемых в учреждении и/или удаляемых во внешнюю среду. К категории В относится все остальное население страны.

Для категории Б нормами предусмотрены предел дозы (ПД) облучения в среднем 20 мЗв/год в среднем за 5 лет в единицах эффек-

тивной дозы. Последняя учитывает различную степень поражения отдельных тканей и органов, например легких, щитовидной железы и гениталий (Козлов...).

Основные мероприятия по защите населения категорий Б и В от ионизирующего воздействия сводятся к всемерному ограничению поступления в окружающую среду отходов производства, содержащих радионуклиды, и зонированию территории вне промышленных предприятий. Для последних при необходимости создают СЗЗ и зону наблюдения.

СЗЗ – территория вокруг источника радиоактивных выбросов, на которой уровень облучения может превышать ПД. В зоне наблюдения этот уровень не должен быть больше установленного ПД. Территория зоны наблюдения, как правило, в 3-4 раза превышает размеры СЗЗ. В обеих зонах вводится радиационный контроль, а в СЗЗ и режим ограничений. Минимальное расстояние от атомных теплоцентралей (АТЦ) и атомных электростанций до городов должно составлять, км:

Город, тыс. чел.	100-300	300-500	500-1000	1000-2000
АТЭЦ	10	12	18	25
АЭС	–	25	–	40

Ионизирующее излучение в значительной степени экранируется зданиями (табл. 6.6).

Требования, предъявляемые к устройству помещений лабораторий и предприятий, предназначенных для промышленного использования радиоактивных веществ, зависят от класса радиационной опасности работ.

В соответствии с ОСП-72/87, проведение работ III класса разрешается в общих помещениях лаборатории на специально оборудованных местах. Работы II класса следует выполнять в специальных изолированных помещениях. Для работ I класса необходимо выделять здания или помещения с отдельным входом, полностью изолированные от других помещений и имеющие трехзональную планировку. Первая (чистая) зона включает операторские и вспомогательные помещения, где нет активных загрязнений. Во второй (грязной) зоне проводят непосредственные работы с радиоактивными веществами. Третья (также грязная) зона является ремонтно-транспортной. Сообщение между чистой и грязными зонами осуществляется через санпропускник или шлюз.

Набор дополнительных мер безопасности зависит от того, закрытым или открытым является источник радиоактивного излучения.

При закрытом источнике возможно только внешнее облучение, поэтому необходима прежде всего защита от его рентгеновской и гамма-

составляющих. Входящие в нее меры в основном рассмотрены в разд. 6.2.2.

Таблица 6.6

Коэффициент k экранирования зданиями (Иванова)

Сооружение	k
Одно- или двухэтажные деревянные дома	0,4
Одно- или двухэтажные блочные или кирпичные дома	0,2
Подвал дома	0,1-0,3
Трех- или четырехэтажные конструкции (500-1000 м ² на этаж):	
первый, второй этаж	0,08
подвал	0,01
Многоэтажные конструкции (~1000 м ² на этаж):	
верхние этажи	0,01
подвал	0,005

Примечание. k — отношение мощности дозы γ -излучения внутри и вне помещения

При работе с открытыми источниками, когда создаются условия для попадания радиоактивных веществ внутрь организма и его облучения там, требуются еще более сложные меры защиты. Они имеют целью не допустить или свести к минимуму загрязнение радиоактивными газами, парами и аэрозолями воздуха, оборудования, аппаратуры, помещения, спецодежды и рук. Конкретные виды этих мер зависят от особенностей производственных и трудовых процессов. Наибольшее внимание должно уделяться сбору, удалению и захоронению твердых и высокоактивных жидких отходов, наличие которых увеличивает опасность радиоактивного облучения.

Обращение с отходами

7.1. Основные понятия

Отходы — это такой объект человеческой деятельности, в который наряду с нецелевыми продуктами переработки исходного сырья, вмещающими и пустыми породами в итоге переходит вся товарная продукция народного хозяйства. По существу, в своей материальной деятельности человечество не производит ничего, кроме текущих и будущих отходов. В них неизбежно превращаются любые материальные объекты в конце жизненного цикла.

Информация общего плана об отходах (понятие, классификация, масштабы накопления и др.) приведена в кн. 3, разд. 1. Здесь устанавливается лишь смысловое единообразие в понимании основных терминов, относящихся к сфере обращения с отходами. Формулировки приведены в соответствии с Федеральным законом РФ «Об отходах производства и потребления» и другими источниками научно-технической информации.

Обращение с отходами — деятельность, в процессе которой образуются отходы, а также деятельность по их сбору, использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению.

Размещение отходов — их хранение и захоронение.

Хранение отходов — содержание их в объектах размещения для последующего захоронения, обезвреживания или использования.

Захоронение отходов — изоляция отходов, не подлежащих дальнейшему использованию, в специальных хранилищах для предотвращения попадания вредных веществ в окружающую природную среду.

Использование отходов — их применение для производства товаров (продукции), выполнения работ, оказания услуг и получения энергии.

Обезвреживание отходов — их обработка, в том числе сжигание и обеззараживание на специализированных установках, для предотвращения вредного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую природную среду.

Объект размещения отходов — специально оборудованное сооружение, предназначенное для их размещения (полигон, шламохранилище, хвостохранилище, отвал горных пород и др.).

Переработка (утилизация) отходов — технологическая операция или их совокупность, в результате которых из отходов производится

товарная продукция или они становятся пригодными для употребления с пользой на предприятии-производителе.

Централизованное размещение отходов — совокупность операций по сбору, транспортированию и последующему размещению отходов от многих производителей на специализированном производственном участке, предусматривающая в некоторых случаях возможность их частичной утилизации.

При централизованном размещении отходов для их сбора и транспортирования создаются специализированные службы. Зачастую их работа выполняется в 2 этапа. Вначале производится первичный сбор и транспортирование отходов и мусора на централизованный участок по их приему, обслуживающий определенную территорию, а затем осуществляется доставка их с централизованных участков для хранения или захоронения на отведенных территориях.

Локальное размещение отходов — их хранение в зоне действия производственной установки (промышленной, сельскохозяйственной и др.), на которой они образуются.

Места локального размещения отходов являются конечным звеном развернутой технологической схемы производства товарного продукта. Эта схема обычно не предусматривает организации специальной службы по сбору и транспортированию отходов. Они попадают в места их размещения по инженерным коммуникациям предприятия. Исключение составляют достаточно редкие схемы подземного размещения отходов предприятий, требующие организации специальных служб захоронения отходов.

7.2. Централизованное размещение

7.2.1. Сбор и транспортирование отходов

В рамках централизованного размещения сбор и транспортирование применяют прежде всего к городским отходам. Их подразделяют на коммунальные и производственные. К коммунальным относят бытовые, торговые, конторские и строительные отходы, все преимущественно твердые. По данным США, количество коммунальных отходов в 2,0-2,5 раза больше, чем производственных городских (твердых и жидких). В целом в городских отходах преобладают ТБО.

Обращение с ТБО чаще всего начинается со сбора их в контейнеры и мешки.

Контейнеры представляют собой стандартные, обычно в форме ящика, емкости для бестарной перевозки грузов, приспособленные для

механизированной погрузки и выгрузки. Их обычно изготавливают металлическими или пластмассовыми. Масса помещаемых в них отходов не должна превышать 35 кг. Контейнеры располагают на ровной бетонированной площадке или приподнимают над землей, чтобы уменьшить коррозию изготовленных из металла конструкций.

В ряде случаев предпочтительнее мешки (пластиковые и бумажные) разового пользования. Они стандартны по размерам, универсальны и гигиеничны. Пластиковые мешки в сравнении с бумажными проще в изготовлении и обращении, дешевле, легче заполняются и закрываются. На их изготовление обычно используют полиэтиленовую пленку толщиной ~40 мкм. Бумажные мешки во избежание намокания, как правило, делают двойными, с пластиковой прослойкой. Однако бумажные и пластиковые мешки быстро рвутся, сами превращаясь в отходы.

Стандартные размеры мешков и контейнеров США для сбора ТБО чаще всего имеют вместимость около 130 и 160 дм³.

При большом количестве твердых отходов для хранения следует применять металлические бункера объемом 1-10 м³ взамен многочисленных мешков или контейнеров малого размера. Они удобны для обработки больших объемов бытовых, торговых, промышленных, сельскохозяйственных отходов в районах с высокой плотностью населения. После опорожнения, предотвращая распространение паразитов и запахов, бункера можно очищать spryskami высокого давления. Производительность установки по spryskam составляет до 250 бункеров в смену. Вода после очистки в фильтре пригодна для повторного использования (Binnie...).

Для сбора еще больших количеств промышленных, строительных и сельскохозяйственных отходов используют очень крупные бункера (объемом 15-30 м³), эксплуатация которых экономически выгоднее, чем мешков, менее вместительных контейнеров или небольших санитарных земляных насыпок.

Для транспортирования контейнеров, мешков, бункеров используют специальные автомобили с устройством на шасси грузовика для подъема емкостей. Предпочтительнее мусоровозы закрытого типа: их можно использовать для работы при любых погодных условиях. Открытые машины следует применять только при сборе громоздких отходов, которые для предотвращения пыления при перевозке необходимо закрывать брезентом. Для повышения производительности желательны машины с высокими бортами.

Оптимальный объем мусоровоза зависит от частоты сбора отходов, количества обслуживаемых точек, численности населения города и др. По американским данным, для города с населением 500 тыс. чел. и более при числе обслуживаемых точек 5 (сбор 1 раз в неделю) и 3

(сбор 2 раза в неделю) необходимы грузовики с объемом 15 м^3 . Они имеют различные системы загрузки: сзади, сбоку, с ковшем спереди. Используются также машины с механическим захватом контейнеров.

В некоторых районах может оказаться эффективной система смены мусоровозов. Так, машины меньшего размера, в том числе мотороллеры, с одним или несколькими мусорными ящиками, заполненными отходами, передают их в более крупную базовую машину. Последняя может использоваться и для уплотнения отходов — примерно с 60 до 360 кг/м^3 . В некоторых конструкциях эту операцию выполняют и во время движения мусоровозов, так как они имеют отдельный двигатель для уплотняющего устройства.

Централизованная система, как отмечалось ранее, в ряде случаев предусматривает двухэтапный сбор отходов. Зачастую они предварительно доставляются с определенной территории на централизованные участки (перевалочные станции). Здесь отходы без какой-либо переработки перегружают из транспортных средств для сбора отходов в транспортные средства их перемещения на большие расстояния с целью размещения на окончательное хранение или захоронение, в том числе и с частичной переработкой.

В области централизованного размещения отходов большой опыт накоплен как в Западной Европе и США, так и в России. Одной из первых внедрила комплексную централизованную систему сбора, транспортирования, переработки и утилизации отходов в масштабах страны Дания. Накопленный ею опыт заслуживает специального изложения, особенно применительно к рассмотренным далее промышленным отходам.

Сбор и обезвреживание отходов в Дании регулируются государственным законодательством. В соответствии с ним каждое предприятие, где образуются ПО, обязано уведомлять местные органы власти об их количестве и составе, а также принимать меры по вывозу или обезвреживанию отходов методами, рекомендованными санитарными органами. Местные муниципалитеты при необходимости должны обеспечить предприятия специальными транспортными средствами для доставки отходов в установленные пункты сбора, находящиеся в их подчинении. Они же взимают плату за перевозку отходов в соответствии с правилами, разработанными Министерством охраны окружающей среды.

Структура коммерческой жизни Дании характеризуется деятельностью значительного количества относительно небольших предприятий, поэтому к ним не предъявляется требование производить соответствующую обработку и обезвреживание отходов на месте их образования. Оно небезопасно с точки зрения загрязнения окружающей среды и невыгодно экономически. В связи с этим было принято решение о создании в стране предприятия по централизованной обработке загряз-

ненных масел, химических и других промышленных отходов. С данной целью муниципалитеты Дании сообща, на долевых началах создали компанию «Коммуникеми А/С». Было определено, что за год с разных предприятий страны на централизованную переработку в созданную компанию может поступить около 80 тыс. т материалов, представляющих 6 основных групп:

отработанные минеральные масла и другие нефтепродукты — 25 тыс. т;

загрязненные органические растворители (спирты, кетоны, сложные и простые эфиры, бензин и другие углеводороды) — 12 тыс. т;

отходы лакокрасочной промышленности и другие органические вещества (химические продукты, остатки нефтепродуктов, дегтя, битума, животного клея, пестицидов, отходы фармацевтического производства и т.д.) — 10 тыс. т;

жидкие хлорированные углеводороды — 1 тыс. т;

неорганические химические отходы в твердой форме или водном растворе (закалочные соли, отработанные жидкости из ванн производства гальванопокрытий и кислоты из травильных ванн, жидкий осадок, содержащий гидроксиды металлов, отработанные щелочи из обезжиривающих и нейтрализующих ванн и т.п.) — 15 тыс. т;

твердые отходы (упаковочные материалы, пластмассы, побочные химические продукты, грунты и песок, загрязненные нефтепродуктами) — 15 тыс. т.

Принятая компанией система приема ПО основана на сборе отходов определенного района, округа или его части. В настоящее время в стране действуют 23 центральных пункта сбора отходов. Каждый центральный пункт имеет железнодорожный узел на 2-4 вагона, в которых отходы доставляют на станцию Коммуникеми. Вагоны являются собственностью последней. Вдоль участка железнодорожного пути центрального пункта расположен пандус, на одном конце которого хранятся в закрытом виде упакованные невоспламеняющиеся отходы, а на другом — также упакованные и невоспламеняющиеся, но токсичные материалы. Когда накапливается много отходов, их загружают в грузовой вагон. Вагоны-цистерны, прибывающие на центральный пункт сбора и содержащие жидкости, опорожняются в специально отведенном месте, откуда отходы перекачиваются или транспортируются по стационарному трубопроводу в железнодорожные вагоны.

Отходы из масло- и бензоуловителей, имеющие, как правило, много воды и легко разделяющиеся на масляную и водную фазы, перекачивают в специальный резервуар, где происходит их сепарация отстаиванием. Из отстойника вода сбрасывается в центральную канализационную систему с маслоуловителем.

Часто при опорожнении цистерн, содержащих жидкие отходы, остается осадок. Поэтому на центральном пункте сбора сооружен бетонный резервуар, куда удаляется осадок вместе с остатками жидкости. Из резервуара жидкие отходы перегоняются в железнодорожные вагоны с помощью погружных вихревых насосов, а неперекачиваемые отходы поднимаются со дна резервуара шнеком в бочки с плотно закрывающимися крышками. На центральном пункте сбора имеются также платформенные весы, мастерская и место хранения пустых контейнеров.

Организация перевозки ПО может быть следующей:

отправление на центральный пункт сбора или станцию «Коммуникеми»;

транспортирование на данный пункт сбора, осуществляемое централизованной системой;

доставка с центрального пункта сбора на станцию «Коммуникеми».

По закону промышленные предприятия обязаны удалять ПО независимо от их количества. Центральные пункты сбора располагаются от них на расстоянии не более 50 км.

Промышленные предприятия, на которых образуется большое количество отходов, часто используют специализированные грузовики или цистерны, в других случаях они удаляются подрядчиками в таре, в которой доставляется сырье. Транспортирование отходов осуществляется специальными фирмами. Значительные объемы их доставляют в вагонетках (отходы из масло- и бензоуловителей), вагонах-цистернах (жидкие химические вещества) или контейнерах (пастообразные фракции, осадок, кеки). С промышленных предприятий с большим количеством отходов перевозка может осуществляться по железной дороге, если они имеют подъездные пути.

Предприятия-отправители отходов заполняют декларации на каждый их тип. В них сообщают характеристики и компоненты отходов, процесс, в котором они образовались. Указывают также способ транспортирования, число контейнеров и их тип; название, адрес и телефон предприятия, другие сведения. Эти данные обеспечивают безопасную для людей и окружающей среды обработку отходов на станции Коммуникеми.

Аналогичная система сбора и доставки ПО принята в Финляндии. В г. Рийхимяки близ Хельсинки функционирует завод для их централизованной переработки в масштабе страны (АО «Суомен Онгелмаяте»). Годовой выход ПО в Финляндии составляет 150 тыс. т. В основном это отработанные масла, растворители, отходы, содержащие тяжелые металлы и т.д. Высшее руководство и контроль за управлением системой сбора, транспортирования и обработки отходов осуществляет Министерство охраны окружающей среды. В губерниях управление и контроль принадлежат правлениям.

В целом в настоящее время в мировой практике используются четыре основных варианта доставки ТБО и ПО на дальние расстояния, которые часто комбинируются и дополняют друг друга. По первой схеме сбор производится автомобильным транспортом, доставляющим отходы непосредственно на места обработки или на перегрузочные станции, где они уплотняются и поступают на большегрузные автомобили. При этом предпочтение отдается перевозке в контейнерах. По второй схеме погрузка осуществляется в железнодорожные цистерны, вагоны, полувагоны или на платформы. Здесь также отводится большое место контейнерному способу перевозок. Третья система предусматривает вывоз отходов водным транспортом. И наконец, отходы могут доставляться на место переработки контейнерным пневмотранспортом по трубам, проложенным по земле, под землей или под водой.

Пневмотранспорт используют преимущественно для удаления ТБО, для ПО он применяется еще в недостаточной степени.

У нас в стране сбор токсичных ПО на предприятиях-поставщиках для их последующей перевозки на полигоны регламентируется рядом нормативных документов, в частности Санитарными правилами № 3183-84.

Способ сбора и временного хранения отходов определяется физическим состоянием и классом опасности веществ, их составляющих. При наличии веществ различного класса опасности отнесение отходов к категории токсичности производится в соответствии с санитарными правилами СП 2.1.7.1386-03.

Временное хранение ПО на территории предприятий, как правило, осуществляется в стационарных складах. При этом должны быть соблюдены общие санитарно-гигиенические требования к состоянию воздуха рабочей зоны с учетом ПДК вредных веществ.

На предприятиях-поставщиках отходов приказом назначается лицо, ответственное за их сбор, хранение и отгрузку на полигон. На отгруженную партию необходимо представлять паспорт с технической характеристикой состава отходов и кратким описанием мер безопасности при обращении с ними. Паспорт заполняется поставщиком и подписывается руководителем предприятия.

Транспортирование токсичных ПО на место централизованной обработки чаще всего осуществляется специальным автотранспортом. Допускается доставка жидких горючих органических отходов III и IV классов опасности автотранспортом предприятий-поставщиков при условии согласования с учреждениями санитарно-эпидемиологической службы и предприятием-переработчиком, в соответствии с инструкцией по обеспечению безопасности перевозки опасных грузов. Тем самым устанавливается порядок перевозки их автомобильным транспортом по дорогам, открытым для общего пользования, независимо от ведомств.

венной принадлежности, на всей территории страны и определяются основные требования к организации, техническому обеспечению и безопасности перевозок.

По ГОСТу 19433-88 к опасным грузам относятся вещества и предметы, которые при транспортировании, погрузочно-разгрузочных работах и хранении могут послужить причиной взрыва, пожара или повреждения доставочных средств, устройств, зданий и сооружений, а также гибели, увечья, отравления, ожогов, облучения или заболевания людей и животных. По своим химическим свойствам опасные грузы делятся на 9 классов. Минимальная безопасная масса опасного вещества или минимальное безопасное количество опасных предметов на одном транспортном средстве, доставку которых можно считать как перевозку неопасного груза, определяется на основе положений Европейского соглашения о дорожной перевозке опасных грузов или других нормативных документов и определяется в правилах или технических условиях на доставку данного груза. Указанное соглашение регламентирует взаимоотношения между грузоотправителем и грузополучателем, определяет порядок выбора и согласование маршрута перевозки опасных грузов, организацию передвижения транспортных средств.

Общая схема организации сбора и вывоза ПО предусматривает следующие технологические операции, аналогичные использованным для ТБО: накопление отходов в контейнерах (цистернах), вывоз контейнеров до места обезвреживания, разгрузку отходов, замену контейнеров на чистые, доставку порожних чистых контейнеров с места сбора, новую загрузку контейнеров.

Контейнеры (цистерны) для сбора и вывоза твердых, пастообразных и жидких промышленных отходов должны отвечать определенным требованиям.

Так, контейнеры для перевозки твердых и пастообразных материалов представляют собой металлическую сварную конструкцию, при необходимости усиленную ребрами жесткости. В их верхней части располагаются загрузочные люки, которые надежно фиксируются в закрытом положении. На передней торцевой стенке контейнера располагается автозахватное устройство. Он имеет также предохранительные клапаны для сбрасывания избыточного давления, возникающего в нем при выделении газообразных продуктов, образующихся при разложении отходов. Внутреннюю поверхность контейнера необходимо защищать кремнийорганическим или кремниевым покрытием, предохраняющим металл от коррозии, а также снижающим адгезию отходов к его стенкам.

Цистерна для перевозки жидких отходов представляет собой сварную конструкцию из двух днищ и обечайки, изготовленных из коррозионно-стойких материалов. Она имеет овальную форму, устанавлива-

ется на направляющих роликах и крепится к шасси с помощью крюка. Сверху располагается люк для доступа внутрь цистерны. Его горловина закрывается крышкой с поджимом. Для успокоения движения жидкости в цистерне предусматривают два волнореза и предохранительный клапан для сбрасывания избыточного давления. Опорожнение цистерны осуществляется через нижний лючок на ее заднем днище. Во избежание непосредственного контакта водителя с отходами лючок должен открываться автоматически из кабины автомашины. На автомобиле необходимо устанавливать сигнальное устройство, исключающее переполнение цистерны.

В качестве конструкционных материалов, используемых для изготовления емкостей и цистерн под сбор, перевозку и хранение коррозионных растворов, применяют черные и цветные металлы, их сплавы, неорганические и органические материалы. Из числа последних можно назвать поливинилхлориды, полиэтилен, полипропилен, фторопласты, стеклопластики, резины, эбониты и др.

При антикоррозионной защите емкостей длиной 1-6 м применяют как свободные вкладыши, так и жесткие крепления полимерной футеровки к стенкам. При большей длине используют только жесткое крепление, так как свободные вкладыши в этом случае растрескиваются.

В ряде случаев для сбора и транспортирования различных материалов выпускаются сменные кузова-контейнеры. Это позволяет снизить транспортные расходы на перевозку грузов, повысить коэффициент использования автомобильного шасси.

В СССР впервые подобная система для сбора и вывоза ПО с применением механизмов фирмы «Мультилифт» на отечественных автомобильных шасси была внедрена в Ленинграде, Киеве, Набережных Челнах. Основным преимуществом этой системы является двухэтапный сбор и вывоз с использованием мусороперегрузочных станций. Для ПО, плотность которых составляет $1500-2000 \text{ кг/м}^3$, необходимость в перегрузке отпадает.

7.2.2. Полигоны ТБО

Основное количество твердых бытовых отходов образуется в городах, ежегодно достигая 500 млн т. Основная масса их (300-350 млн т/год) поступает на полигоны и стихийные свалки. Площадь отдельных полигонов колеблется от единиц до сотен гектаров, в сумме составляя более 140 тыс. га. Эти объекты предназначены в основном для захоронения отходов и не предусматривают специальной

переработки последних. Объем свалок ежегодно возрастает на ~6%, т.е. в 3-4 раза быстрее, чем народонаселение, что составляет 350 км².

Проект организации ТБО должен включать создание подъездных дорог, подготовку территории полигона, разбивку ее на карты, устройство дренажа, водо- и энергоснабжение, телефонную связь, весовое хозяйство, санитарный контроль, мастерские для обслуживаемого оборудования и т.д. (*Утилизация твердых...*). В последнее время в нашей стране стали практиковать также уплотнение дна полигонов. Часть отходов, захороняемая на стихийных свалках (котлованах, карьерах), по-прежнему складировается без специальной подготовки территории.

Подъездная дорога должна состоять по меньшей мере из двух мощных полос с шириной, достаточной для использования тяжелых транспортных машин, и иметь уклон не более 8°. Временные дороги от въезда до места разгрузки могут быть грунтовыми на подходящем основании (гравий, раздробленный мелкий камень, крупный песок, шлак или отходы бетона). Желательно строить дорогу с твердым покрытием (асфальт, цемент, литые каменные материалы и т.п.).

Отходы складировать на грунт с соблюдением условий, обеспечи-

вающих защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных, грунтовых вод и препятствующих распространению болезнетворных микроорганизмов.

Имеются два основных метода захоронения ТБО на полигоне — поверхностная и траншейная засыпки.

Поверхностная засыпка предпочтительнее при наличии лодин, глубоких ущелий, открытых карьеров или других подобных площадок. Общая схема варианта представлена на рис. 7.1. В этом случае доставленные отходы с помощью бульдозера распределяются и уплотняются, а в конце рабочей смены на них подается так называемое суточное покрытие из земли. Его

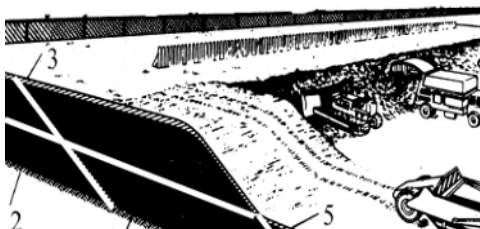


Рис. 7.1. Метод поверхностной санитарной земляной засыпки: бульдозер распределяет и уплотняет твердые отходы. Скрепер (на переднем плане) используется для транспортировки материала покрытия в конце смены. Переносное ограждение захватывает сдуваемый ветром мусор:

- 1 — уплотненные твердые отходы;
- 2 — земля; 3 — окончательное покрытие из земли (60 см); 4 — переносное ограждение для улавливания бумаги; 5 — суточное покрытие из земли (15 см)

необходимость обуславливается тем, что мусор нельзя держать открытым более 12 ч, так как он может быть опасен для здоровья людей вследствие идущих в нем процессов разложения с выделением дурнопахнущих и вредных газов. Незакрытой должна оставаться только минимально возможная поверхность. Окончательное покрытие из земли слоем до 60 см наносят по мере освобождения фронта работ для него на загружаемой секции (карте). Землю для покрытия получают срезанием почвенного слоя засыпки.

Траншейная засыпка обычно применяется в условиях равнинной и холмистой местности. Твердые отходы с мусоровоза сбрасывают в выкопанные экскаватором траншеи, где бульдозер выравнивает и уплотняет их (рис. 7.2). Здесь также предусматривается суточное покрытие. Окончательное покрытие землей, вынутой при рытье траншеи, наносят после ее заполнения.

В обоих вариантах мусоровозы должны сбрасывать ТБО как можно ближе к месту засыпки.



Рис. 7.2. Метод траншейной земляной засыпки. Мусоровоз сбрасывает свой груз в траншею, где бульдозер выравнивает и уплотняет его. В конце дня скрепковый экскаватор выкапывает почву из траншеи, которая затем используется как материал для ежедневного покрытия.

Траншеи могут быть также отрыты с помощью погрузчика, бульдозера или скрепера:

1 — уплотненные твердые отходы; 2 — вырытая земля; 3 — ежедневное покрытие из земли (15 см); 4 — земляное покрытие, полученное при отрытии траншеи

Размещение материала проводят на рабочей поверхности с уклоном 20-30°, а уплотнения добиваются двумя-пятью проходами бульдозера. Разгрузку, разравнивание и уплотнение необходимо выполнять так, чтобы получить тонкие ровные слои отходов и почвы, создать требуемый уклон, выдержать постоянные размеры секций. Схема засыпки должна позволять прохождение маршрутов транспорта через уже заполненные площади с целью дополнительного уплотнения отходов и почвы. Однако этого варианта следует избегать во влажную и дождливую погоду.

В последние годы наряду с технологией захоронения засыпкой начинают применять поверхностное складирование ТБО (Япония, США, Испания). Соответствующая технология испанской фирмы «Имабэ Иберика» апробирована в Москве и была

намечена к использованию в Ростове-на-Дону (*Гарин...*).

В основе способа поверхностного складирования ТБО лежит их брикетирование. При этом стандартные пресс-формы сжимают несортированный мусор от плотности 0,2-0,25 до 1,1-1,2 т/м³. Брикеты имеют форму призмы размером 1,1×1,1×2,5 м (объем ~2,5 м³, масса 3 т). На полигоне их укладывают штабелями высотой 5-8 м. Влажность прессованного мусора составляет всего 5-10%, отжимаемые стоки обеззараживаются тут же. Резко снижается выделение биогаза из прессовок (в ~20 раз). На обычных полигонах оно составляет ~200 м³/т ТБО. Срок службы полигона увеличивается в 2-3 раза.

Наряду с бытовыми на полигонах ТБО хоронят часть промышленных отходов. С учетом региональных условий предприятия, имеющие не утилизируемые токсичные отходы IV и III классов опасности, могут получать разрешение на их вывоз на полигоны ТБО в местных санитарно-эпидемиологических станциях и инспекциях пожарной охраны. Вопрос о количестве указанных отходов решается коммунальными службами исходя из конкретных условий (наличие площадей складирования, обеспеченности машинами и механизмами).

Основное условие приема ПО на полигоны ТБО – соблюдение санитарно-гигиенических требований по охране атмосферного воздуха, почвы, грунтовых и поверхностных вод. Промышленные отходы III класса опасности для совместного складирования с ТБО должны иметь влажность не более 85%, не быть взрывоопасными, самовоспламеняющимися и самовозгорающимися. Не принимаются ПО, температура воспламенения которых ниже 120°C, а также все отходы, способные к самовозгоранию за счет химических реакций и выделения тепла в толще складированной массы, эмитирующие пары и газы, которые могут дать взрывоопасные или ядовитые смеси с воздухом и другими газами полигонов.

Промышленные отходы IV класса опасности принимаются на полигоны ТБО без ограничений. Куски крупнее 250 мм укладывают в толщу рабочего слоя ТБО, а имеющие фракционный состав 0,15-250 мм и содержащие вредные вещества в допустимых пределах используют в качестве изолирующего слоя. Эти отходы характеризуются содержанием токсичных веществ в водной вытяжке (1 л воды на 1 кг отходов) на уровне фильтрата из ТБО, а интегрирующие показатели БПК и ХПК составляют в них не более 300 мг/л (*Санитарная...*).

Экологический мониторинг показывает, что в целом в окрестностях полигона твердых бытовых отходов территория ближе 3 км от него малопригодна для сельскохозяйственного использования (*Бережной...*).

Городское управление коммунального хозяйства ежегодно утверждает и передает на полигон список (перечень) обслуживаемых про-

мышленных предприятий с указанием, какие отходы и в каких количествах от них разрешено принимать. Лаборатория полигона ведет выборочный контроль доставляемых ПО. Отходы каждого предприятия проверяют не реже одного раза в квартал.

После исчерпания площади, отведенной для захоронения, поверхность свалки рекультивируют. Однако в толще отходов еще в течение десятков лет идут процессы анаэробного сбраживания органической части отходов с выделением биогаза. На местах бывших крупных свалок в ряде случаев оказывается экономически выгодным наладить его промышленное использование.

Биогаз полигонов ТБО содержит 40-65% CH_4 , 35-40% CO_2 и небольшое количество примесей, в частности сероводорода. При сгорании 1 м^3 биогаза образуется 18-25 МДж/ м^3 тепла. Запасы его значительны, составляя до 400 м^3 /т ТБО. Подсчитано, например, что тепло биогаза свалок Великобритании эквивалентно 2,5 млн т/год угля. Мировые объемы выделения биогаза ежегодно составляют по CH_4 9-20 Тг, по CO_2 — 20-43 Тг, что сравнимо с эмиссией CH_4 из основных антропогенных источников — угольной и нефтегазовой промышленности. Доля эмиссии метана с полигонов ТБО в суммарном потоке его от наземных источников в атмосферу оценивается в 2-7%, расчетная продолжительность выделения составляет 50-100 лет (Образование...).

Основной процесс газообразования на полигоне сводится к микробиологическому разложению органических компонентов, имеющему четко выделенную зональность. В верхней зоне полигона (0-1,5 м) протекает аэробный процесс, на более низких горизонтах располагается сфера анаэробного сбраживания. Анаэробный процесс включает несколько основных стадий: гидролиз, ацетогенную и метаногенную; снижения биологической активности; полной ассимиляции. Они практически совпадают с этапами жизненного цикла полигона (Максимова...).

На границе анаэробной и аэробной зон находится переходной участок, в котором протекает процесс неполного окисления биогаза из нижней зоны. В аэробной зоне в естественных условиях имеет место полное окисление таких компонентов биогаза, как метан и водород, т.е. эффективно действует так называемый «окислительный» биофильтр. При рыхлении поверхности, высаживании трав на полигоне он работает еще более интенсивно. Однако при добыче биогаза его преждевременное аэробное превращение вплоть до момента использования является вредным. В этом случае газ резко снижает свою теплотворную способность за счет окисления части углеводов и повышения содержания углекислого компонента. Поэтому при отборе газа для хозяйственных нужд поверхность полигона должна быть хорошо уплотнена или укрыта, а отвод биогаза необходимо вести из зоны наибо-

лее активного восстановления его компонентов, обычно лежащей на глубине 2-6 м от поверхности.

Решение об использовании полигона в качестве источника энергии принимается при наличии следующих условий:

полезный потенциал газа не ниже 100 млн м^3 . Это соответствует мощности полигона 300-500 тыс. $\text{м}^3/\text{мес.}$;

период эксплуатации полигона как источника биогаза не менее 20 лет;

содержание метана в биогазе 45% и более;

минимальная скорость выделения газа 60 $\text{м}^3/\text{ч}$.

В настоящее время как газовые месторождения эксплуатируется более 150 полигонов ТБО, расположенных в 15 странах мира. Большая их часть (80%) находится в США, Великобритании, Германии.

Биогаз обычно используют в качестве топлива для удовлетворения бытовых потребностей населения близлежащих к полигону территорий, а также для собственных нужд полигона, включая технологические. В частности, известно его применение как топлива для печи плавления отходов с последующим их остеклованием (Trenand).

Основой газосборной системы полигона ТБО являются вертикальные газосборные скважины, шахтные колодцы или горизонтальные газоприемные трубопроводы, уложенные в толще отходов. Днище, борта и кровлю полигонов в участках газовыделения необходимо изолировать. Перед использованием биогаза желательно удаление из него влаги, сероводорода и диоксида углерода методами селективной адсорбции и мембранной технологии.

Удаление газа может быть реализовано в двух режимах: самопроизвольном и принудительном. Первый применяют при избыточном давлении внутри свалочного тела ниже 1 кПа и минимальной скорости выделения газа, не превышающей 60 $\text{м}^3/\text{ч}$. В этом случае биогаз целесообразно сжигать или рассеивать в атмосфере. При давлении газа более 1 кПа, во избежание опасных прорывов через изолирующее покрытие, необходима принудительная откачка газа с использованием его на потребительские цели.

Рекультивация площадей закрытого полигона может быть весьма эффективной. Так, в окрестностях Лос-Анджелеса расположен рекреационный комплекс площадью 243 га. Около 62 га этой территории в период с 1951 по 1969 г. использовалось в качестве санитарной засыпной свалки ТБО и ПО. В настоящее время на этом месте размещены спортивные сооружения, выставочный центр и конференц-зал, ипподром, гостиница и другие коммерческие и бытовые постройки. В генеральный план развития комплекса включен пункт утилизации биогаза, генерируемого на месте размещения бывшей свалки. С 1981 г.

здесь эксплуатируются 30 газодобывающих скважин, обеспечивающих подачу газа в бойлерные установки систем отопления и горячего водоснабжения зданий и спортивных сооружений комплекса.

7.2.3. Полигоны промышленных отходов

Эти объекты являются природоохранными сооружениями, предназначенными для регулярного обезвреживания и захоронения в одном месте токсичных отходов, загрязнений и некондиционных продуктов (веществ) промышленных предприятий, научно-исследовательских организаций и учреждений, расположенных в одной или нескольких промышленных зонах.

Обработка ПО на полигонах является более прогрессивным способом, чем сброс на свалки ТБО, поскольку наряду с захоронением и сжиганием здесь предусматриваются установки для промышленной обработки некоторых видов промотходов.

В соответствии со СНиПом 2.01.29-85 в составе полигонов предусматривается строительство трех основных объектов, которые могут быть размещены на одной или нескольких отдельно расположенных площадках:

цехов для обезвреживания токсичных ПО и некондиционных продуктов (веществ), предназначенных для их сжигания и физико-химической переработки с целью полного обезвреживания или понижения токсичности (класса опасности), перевода в нерастворимые формы, сокращения объемов, подлежащих захоронению;

участка захоронения, представляющего собой территорию, на которой располагаются специально оборудованные карты, или котлованы, куда складировуют различные группы токсичных твердых отходов и загрязнений;

гаража специализированного парка автомашин, предназначенных для транспортирования токсичных ПО.

Полигоны следует располагать в свободных от застройки, открытых, хорошо проветриваемых незатопляемых местах, на которых возможно осуществление мероприятий и инженерных решений, исключающих загрязнение населенных пунктов, зон массового отдыха и источников питьевого водоснабжения (открытых водохранилищ и подземных вод). Размер СЗЗ от полигона до населенных пунктов и открытых водоемов устанавливается с учетом местных условий (климат, рельеф, тип почв, направление ветров и т.д.), но не менее 3000 м. Полигоны должны располагаться на расстоянии не ближе 200 м от сельскохозяйственных угодий и транзитных магистральных дорог и

50 м от лесных массивов и лесопосадок. Их следует размещать, как правило, на участках со слабо фильтрующими грунтами (глина, суглинки, сланцы и т.д.), характеризующимися коэффициентом фильтрации не более 10^{-5} см/с. Уровень грунтовых вод при их наибольшем подъеме с учетом стоков, появляющихся при эксплуатации полигона, должен находиться не менее чем в 2 м от нижнего горизонта захороняемых отходов, заглубление которых обычно составляет 7-15 м.

Количество и мощность полигонов для каждого промышленного района обосновываются технико-экономическими расчетами.

В СССР проектирование полигонов для централизованной обработки ПО регламентируется уже упоминавшимися Санитарными правилами № 3183-84. Их требования распространяются на проектирование, строительство и эксплуатацию полигонов только для захоронения и сжигания отходов производства, для которых не разработаны методы утилизации.

Приему на полигоны не подлежат радиоактивные, а также пригодные для утилизации отходы: нефтепродукты, древесные (опилки, тара и т.д.), промышленные и строительные.

Все токсичные ПО, поступающие на полигоны, по своим физико-химическим свойствам и методам переработки подразделяются на группы, в зависимости от которых применяется тот или иной способ обезвреживания и захоронения. В СНиПе 2.01.29-85 указан примерный перечень тринадцати групп отходов и рекомендуемых методов их переработки. Приему подлежат только ПО I, II, III, IV и V, в настоящее время, классов опасности. Их перечень в конкретном случае согласовывается с органами санитарного надзора и заказчиком проекта полигона.

Горючие отходы подлежат сжиганию. Для этого на специально выделенном участке полигона необходимо ставить печь, режим работы которой обеспечивает сжигание при температуре 1000-1200°C, исключая загрязнение окружающего воздуха. Печь должна быть оснащена газоочистными и пылеулавливающими сооружениями.

На все отходы, вывозимые на полигон, нужно составлять паспорт с технической характеристикой состава отходов и кратким описанием мер безопасного обращения с ними при захоронении или сжигании. Паспорт представляется с каждым рейсом автомобиля на каждый из отходов за подписью ответственных лиц предприятия.

В процессе эксплуатации должен проводиться систематический текущий контроль службой полигона и выборочный контроль органами санэпиднадзора за уровнем содержания токсичных ингредиентов в грунтовых водах, в почве территории, прилегающей к полигону, в растениях вокруг него, а также в атмосферном воздухе в радиусе 3000 м.

Первым и одним из самых освоенных является введенный в эксплуатацию в 1967 г. опытный полигон «Красный бор», расположенный в 5 км от г. Колпино Ленинградской области и в 30 км от Санкт-Петербурга. Его общая площадь составляет 68 га, расчетный срок службы — 40 лет. В первые 30 лет эксплуатации полигон принял 1,5 млн т токсичных отходов. При выборе участка под полигон были учтены близкий выход к поверхности водоупорных кембрийских глин толщиной 80 м, незатопляемость полигона паводковыми водами, отсутствие близлежащих водоемов для водоснабжения, водоносных горизонтов.

По внешнему контуру полигон окружен кольцевым каналом, отводящим подземные и поверхностные воды с окружающей территории в р. Большая Ижора. Однако непосредственно с территории полигона сброс вод в канал не осуществляется.

Предприятия и организации города производят сбор и удаление ПО, как правило, самостоятельно.

На полигон принимают осадки очистных сооружений и все ПО, за исключением радиоактивных и подлежащих регенерации.

Поступающие отходы можно разделить на четыре основные группы:

жидкие, содержащие органические примеси. Они представляют более половины всех привозимых отходов. В их состав входят в разных количествах и сочетаниях углеводородные и высокомолекулярные соединения (продукты органического синтеза, смолы, органические растворители, синтетические каучуки, нефтеотходы и т.д.). Эти отходы горючи;

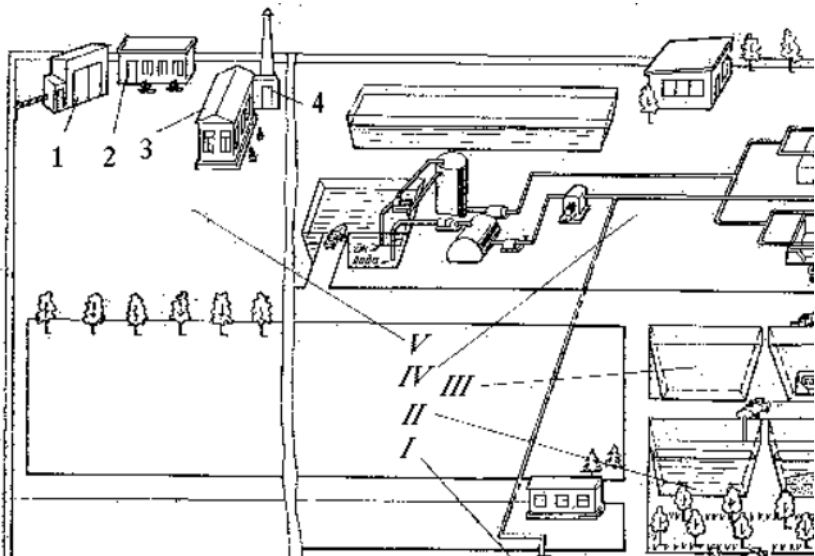
жидкие отходы гальванических производств с влажностью 96-98%, имеющие в своем составе целый спектр соединений цветных металлов. Они относятся к разряду негорючих;

твердые (сажа, пигменты, красители, наполнители, каолины, химер-активы, другие порошки) и условно твердые (грязь из мазутных резервуаров, нефтебитум, гудрон в смеси с водой и песком);

особо вредные, содержащие соединения цианистые, ртути и других сильнодействующих веществ.

Общая схема полигона представлена на рис. 7.3. В соответствии с нею, все принятые отходы подвергают захоронению в картах-котлованах или сжигают.

Карты имеют габариты (ширина-длина-глубина), равные 30-120 × 40-200 × 6-24 м, и занимают около 80% площади полигона. На остальной территории расположены печи сжигания жидких отходов, административно-бытовой корпус, складские и вспомогательные сооружения. К началу нашего века 63 карты были уже заполнены и законсервированы (прикрыты слоем глины).



**Рис. 7.3. Участки приема и обезвреживания
промышленных отходов на полигоне:**

- I — участок обезвреживания промышленных отходов, содержащих неорганические соединения; II — участок захоронения негорючих промышленных отходов, содержащих органические соединения; III — участок захоронения особо вредных отходов; IV — участок термического обезвреживания жидких промышленных отходов; V — административный участок; 1 — контрольно-пропускной пункт и весовая; 2 — химическая лаборатория; 3 — административное здание; 4 — котельная

Жидкие промышленные отходы сливают в котлован непосредственно из автотранспортных цистерн через шланг по лоткам. Одновременно с жидкими принимают сыпучие тонкодисперсные промышленные отходы, которые поступают на полигон в цементовозах. Их также шлангом под напором подают в жидкие отходы, что приводит к интенсивному перемешиванию смеси. При заполнении котлована соотношение объемов жидких и твердых отходов поддерживают равным 0,5. Образовавшуюся массу вязкой консистенции, не склонную к расслоению, закрывают трехметровым слоем глины и растительного грунта, сеют траву, сажают деревья и декоративные кустарники.

Особо вредные промышленные отходы принимают на полигон в герметично закрытых металлических контейнерах. Последние автокраном опускают на дно котлована, отведенного для их захоронения. Каждый контейнер со всех сторон засыпают полуметровым слоем глины,



Рис. 7.4. Принципиальная схема установки термического обезвреживания ПО

трудностей, а сжигание нефтеотходов в открытых бункерах приводит к сильному задымлению и загрязнению воздушного бассейна токсичными продуктами неполного сгорания. Поэтому с 1975 г. на полигоне используют также термический метод обезвреживания жидких отходов (рис. 7.4). Особенность схемы состоит в том, что в печи наряду со сжиганием жидких горючих обезвреживают жидкие негорючие отходы, содержащие органические и минеральные примеси. Горючие отходы вместе с воздухом поступают в камеру сгорания. Продукты сгорания используются в рекуператоре и выбрасываются в атмосферу, жидкие негорючие отходы в нем нагреваются. Пары легколетучих органических соединений и азеотропных смесей, а также упаренный раствор, насыщенный высококипящими органическими примесями, поступают в камеру сгорания, где термически обезвреживаются. Горючие отходы сжигают в футерованной части камеры при тангенциальной подаче воздуха в три зоны с определенным соотношением их расхода (трехступенчатый режим горения). В последнюю зону, расположенную около выхода из камеры сгорания, воздух подается с направления, противоположного двум другим. Температура газов в центре горения составляет 1200-1300°C, на выходе из печи 400-600°C. При выбранных режимах на одной установке ежедневно в среднем сжигается до 10 т горючих отходов и термически обезвреживается до 60 т.

Однако до сих пор все семь печей полигона не оснащены системой газоочистки, что вызывает постоянные протесты населения.

На опытном полигоне разработан и внедрен также каскадный метод обезвреживания отходов гальванических производств. Он тоже не связан с захоронением всего объема отходов и заключается в химиче-

а сверху располагают следующий их ряд. По мере заполнения котлована контейнерами его засыпают глиной, последнюю покрывают растительным грунтом, на котором сеют траву, высаживают деревья и кустарники.

Как показала практика, захоронение жидких отходов в котлованах, открытых в толще глин, сопряжено с рядом

ской нейтрализации токсичных примесей. Процесс происходит в последовательно соединенных емкостях, вырытых в толще глины.

Жидкие отходы с влажностью 96-99% поступают в приемник для естественного осаждения взвеси, солей, шламов, механических примесей. Осветленный раствор, содержащий растворимые соли металлов, переливают в емкость окисления-восстановления; туда же поступают отходы железного купороса.

После окончания окислительно-восстановительного процесса жидкую фазу переливают в нейтрализатор, где осаждают тяжелые металлы в виде гидроксидов и солей. Необходимую щелочность среды создают добавлением отходов, содержащих известь, едкий натрий, кальцинированную соду, поташ. Обезвреженную жидкость с растворенными солями калия, натрия, магния и другими в концентрациях, не превышающих ПДК, направляют на испарение. По мере накопления осадка в первой емкости каскад перемещается: вторая емкость становится первой, третья — второй, четвертая — третьей, для четвертой емкости отрывают котлован. Первую емкость покрывают слоем глины и растительного грунта, затем сеют травы, сажают деревья и декоративные кустарники.

Каскадный метод обезвреживания отходов, содержащих минеральные примеси, позволяет вести этот процесс непрерывно, с относительно небольшими затратами земельных площадей, так как непосредственному захоронению подвергается лишь небольшая часть отходов — твердых токсичных, шламов и взвесей. Основную массу отходов (около 90%) в виде обезвреженной жидкой фазы не захороняют. Вместе с тем локальное накопление в определенных емкостях тяжелых металлов в виде гидроксидов и нерастворимых солей создает предпосылки для их дальнейшего извлечения и утилизации.

Следует отметить, что в настоящее время «Красный бор» в связи с истечением расчетного срока службы находится в критическом состоянии. Его карты переполнены, возможен прорыв ограждающих дамб. На международном уровне полигону присвоен статус «горячая точка №23 ХЕЛ и КОМ».

К числу первых российских относится также введенный в действие в 1973 г. экспериментальный полигон для захоронения и уничтожения отходов предприятий Дзержинска и Горького (в основном автозаводов). В нем наряду со складированием отходов на площадках-котлованах и в штабелях предусмотрена технология сжигания твердых отходов в барабанной печи с утилизацией тепла в котле ДКВР-65/13, а жидких и смолообразных отходов — в циклонной топке с плавильной ванной также с утилизацией тепла и очисткой дымовых газов.

Полигон был закрыт в 1991 г. ввиду значительного загрязнения окружающей среды поступающими на него отходами. Отметим два главных фактора, повлиявших на это решение:

за счет плохой гидроизоляции уже через два года подземные воды региона были загрязнены;

Очистка отходящих газов практически не работала.

Обе причины не являются недостатками, органически присущими именно полигонному способу размещения отходов. Проблема улавливания газообразных загрязнителей — общая для России, поскольку известные в мировой практике способы газоулавливания в нашей стране до сих пор практически не освоены. За рубежом накоплен также большой опыт создания надежной гидроизоляции полигонов. Достаточно распространенный ее вариант сводится к следующему. На искусственное песчаное ложе укладывается покрытие из пленки толщиной 2,2 мм. На ней формируется дренажный гравийный слой с разветвленной системой труб диаметром 40 мм из ПВХ. На дренажный слой укладывается пленочное покрытие толщиной 2,5 мм. Полигон разбивают на карты размером 100×100 м. В центре каждой из них устанавливается шахта диаметром до 3 м с телескопически наращиваемой по мере повышения уровня отходов верхней частью для сбора и откачки дренажных сточных вод. К шахте подводят также разветвленную систему труб из ПВХ, уложенных между двумя слоями пленочного покрытия. При нарушении целостности его верхнего слоя дренажные воды по трубам из ПВХ начинают поступать в шахту, сигнализируя о масштабах разгерметизации. При превышении определенной интенсивности поступления сточных вод пространство между слоями пленочной изоляции герметизируют, нагнетая по трубам из ПВХ цементно-глинистое расширяющееся вяжущее. Данная система хорошо зарекомендовала себя на полигоне с расчетным объемом отходов 20 млн м³ (Воескн).

Ценный опыт, накопленный при проектировании, строительстве и эксплуатации первых в стране полигонов для организованного обезвреживания ПО, позволяет перейти к более широкому внедрению промышленной технологии обезвреживания и складирования отходов промышленных предприятий.

В разное время разработана документация для полигонов промтоходов Ульяновска, Риги, Омска, Днепропетровска, Кривого Рога, Глазова, Новосибирска, Бердска, Искитима, Кишинева и других городов.

Самый большой в мире полигон (Fresh kills) расположен на острове Staten, недалеко от Нью-Джерси (США). Он содержит около 84 млн м³ мусора, в том числе каменные обломки двух башен Торгового центра Нью-Йорка, разрушенных 11 сентября 2001 г. в результате террористической атаки смертников на гражданских самолетах с экипа-

жами и пассажирами на борту. Размеры полигона столь велики, что его видно из космоса. При площади 8,4 км², он является самой высокой точкой на Восточном побережье США. Полигон эксплуатировался в 1947-2001 гг. (Jessen).

Основной недостаток полигонов захоронения отходов обусловлен незначительной долей утилизации последних, главным образом в виде тепловой энергии. Кроме того, существование полигона ограничено во времени имеющимися в наличии площадями, при использовании которых он неизбежно закрывается.

Низкая степень утилизации отходов, отсутствие свободных площадей обусловили появление директивы №75/422 ЕС, ст. 5, в соответствии с которой выдачу разрешений в ЕС на полигонное захоронение прекратят в 2010 г. В плане устранения отмеченных недостатков гораздо большие возможности имеет централизованная заводская переработка отходов.

7.2.4. Заводская переработка ПО на полигонах

Это направление получило распространение в развитых странах Европы и США. При более высокой степени утилизации отходов в данном случае практически исключается их захоронение на территории полигонов. Образующиеся на полигоне вторичные отходы (золы, шлаки, обезвоженные гальваношламы и др.) по мере накопления вывозятся для переработки на промышленных установках в строительные материалы или иную товарную продукцию. Установки входят в состав промышленных предприятий и перерабатывают, как правило, один вид первичных или вторичных отходов по известным или специально для них разработанным технологиям.

Одним из первых предприятий с заводской переработкой отходов является уже упоминавшийся завод «Коммуникеми» (г. Ниборг, Дания), введенный в эксплуатацию в 1979 г. и рассчитанный на переработку 80 тыс. т ПО в год. Завод занимает площадь 5 га. Его приемный пункт имеет подъездные автомобильные дороги и железнодорожную ветку, вдоль которой на длине 170 м построена платформа, предназначенная для разгрузки бочек и товарных вагонов. Специальное место выделено для разгрузки железнодорожных цистерн.

Для опорожнения цистерн, привозящих нефтеотходы, растворители, жидкие токсичные отходы, применяется трубопроводный транспорт, поэтому начиная с места разгрузки и до обезвреживающей установки персонал не имеет непосредственного контакта с разгружаемыми материалами.

Пастообразные отходы химической промышленности, использованные консистентные смазки, жироподобные вещества привозят в бочках, которые устанавливают на движущийся рольганг, вскрывают специальными ножами и транспортируют далее к месту сжигания.

В состав основного технологического оборудования, смонтированного на заводе, входят:

установки для обработки использованных масел, загрязненных растворителей, неорганических химических загрязнений, сжигания и прокаливания промышленных твердых жидких и пастообразных отходов (барабанная печь);

котел-утилизатор и система очистки дымовых газов;

специальная циклонная печь с мокрой очисткой дымовых газов для термического обезвреживания галогенсодержащих углеводородов.

Значительное место на заводе занимают наземные резервуары для хранения жидких химических отходов и нефтепродуктов. Для складирования твердых отходов на время ремонта или технического обслуживания оборудования предназначено специальное хранилище.

Технологическая схема завода «Коммуникеми» представлена на рис. 7.5. Здесь от одной станции контроля и приемки отходов, поступающих по железной дороге и автотранспортом, ответвляются две линии сжигания для галогенсодержащих и остальных отходов.

Доставленные на завод отработанные масла и нефтесодержащие материалы подвергаются обработке нагревом до 90-100°C и последующим отстаиванием в вертикальных резервуарах, где они разделяются на четыре фракции: осадок, перекачиваемый на сжигание насосами и предварительно проходящий через дробилки; воду, подаваемую в камеру дожигания; масло, идущее к потребителям для вторичного использования; легковоспламеняющиеся отходы. Последние собираются в верхней части резервуара и направляются в конденсатор, а затем в жидком виде смешиваются с растворителями, привозимыми отдельно, и поступают на сжигание. Растворители служат топливом для барабанной печи, являющейся основным оборудованием завода для обезвреживания отходов. Твердые и жидкие шлаки на выходе из барабанной печи попадают в мокрый шлаковый бункер и транспортируются на склад. Несгоревшие частицы и отходящие газы поступают в камеру дожигания, где поддерживается температура 900-1000°C.

Если вследствие низкой теплоты сгорания отходов и неполного их горения температура в барабане понижается, то через расположенную сбоку горелку подается дополнительное топливо.

Для обеспечения полного выгорания отходящих газов в камеру вторичного сжигания с большой скоростью вдувают воздух.

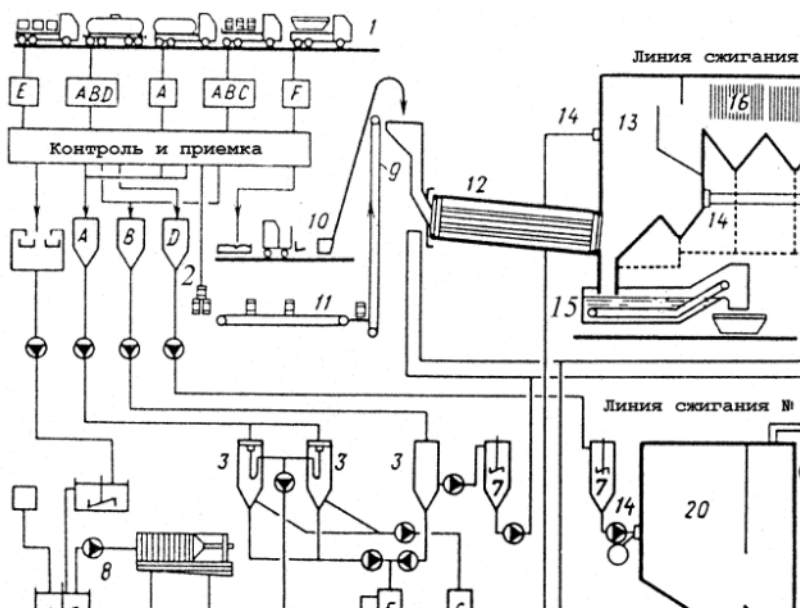


Рис. 7.5. Технологическая схема завода «Коммуникеми»:

1 — разгрузочная платформа; 2 — приемные резервуары; 3 — разделочные резервуары; 4 — бак-накопитель; 5,6 — расходные баки; 7 — мешалки; 8 — фильтр-пресс; 9-11 — загрузочные устройства; 12 — барабанная печь; 13 — камера дожигания; 14 — форсунка; 15 — шлакоудаление; 16 — котел-утилизатор; 17 — электрофильтр; 18 — дымосос; 19 — труба; 20 — камерная печь; 21-25 — система мокрой очистки газов

Расположенный после камеры дожигания паровой котел обеспечивает тепловой энергией завод. Избыток пара используется для подогрева воды в системе теплоснабжения г. Ниборга. Температура перегретого пара составляет около 240°C, выходящих газов — 280-300°C. Их очищают в электрофильтре.

Шлаки и обезвоженные гальванические шламы вывозят в определенное место и складывают.

Линия сжигания галогеносодержащих материалов значительно меньше предназначенной для остальных отходов. Вместо барабанной там применяют камерную печь. Специфика отходящих токсичных газов требует их мокрой очистки в скруббере. Образующуюся сточную воду нейтрализуют известью, а дымовые газы объемом 30000 м³/ч через тру-

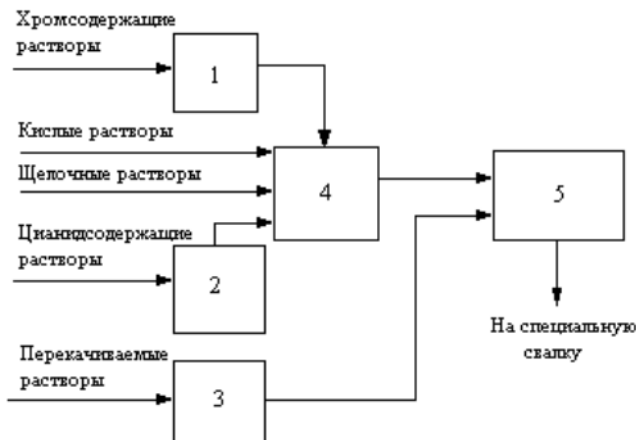


Рис. 7.6. Схема работы химической линии:

1 — восстановление; 2 — окисление; 3 — обработка пульпы;
4 — нейтрализация; 5 — фильтр-пресс

бу выбрасывают в атмосферу. Сточную воду сливают в систему городской канализации, а обезвоженный шлам направляют на площадку хранения для дальнейшего использования на промышленных установках.

Другим примером современного предприятия с заводской технологией переработки и утилизации ПО является комплекс, построенный в Финляндии фирмой АО «Суомен Онгелмаяте» в 1984 г. с годовой производительностью по отходам 65 тыс. т. Последние включают маслосодержащие, сжигаемые органические, растворители, неорганические, ПХБ, гербициды и другие типы отходов. Для каждого их вида предусмотрена своя разгрузочная линия (рис. 7.6).

Поступающие на завод отходы в зависимости от их свойств подвергают химической или термической обработке.

Вещества, предназначенные для химической переработки, подают на установку в виде раствора или пульпы, где они превращаются в безопасные и менее вредные соединения или осаждаются в труднорастворимых формах, отделяемых фильтрацией и отправляемых на специальную свалку. Фильтрат, в котором содержание вредных веществ ниже предельных значений, согласованных с органами власти, спускают в канализационную сеть близлежащего города.

Установка термической переработки состоит из барабанной печи с камерой дожигания, котла-утилизатора, системы очистки отходящих газов и предназначена для обезвреживания около 50 тыс. т/год отхо-

дов. На нее поступают следующие их виды: жидкие (отработанное масло, органические, галогенсодержащие растворители, ПХБ, сжигаемые сточные воды); пастообразные (лакокрасочные, красочные и клеевые, масляные пульпы); твердые (упакованные в бочках, больничные и др.); газообразные — отходящие газы из вакуумных насосов приемного пункта отходов.

Большой опыт обезвреживания ПО накоплен в Швеции. В стране существует шесть пунктов приемки и частичной предварительной переработки опасных отходов. В 1983 г. введен в эксплуатацию центральный завод «Сакаб» близ г. Норртороп. На него поставляются опасные ПО с территории всей страны. Схема их переработки в целом соответствует технологии, принятой на заводах Дании и Финляндии. Аналогичные заводы и установки имеются и в других странах.

В России заводская переработка ПО на полигонах не применяется.

7.2.5. Захоронение в море

В ряде случаев наиболее экономичным способом размещения отходов, особенно для прибрежных населенных пунктов, является их захоронение в Океане и его морях. Общий тоннаж морского захоронения, реализуемый вывозом судами, без учета других средств, составляет, по данным Н.Ф.Реймерса, более 100 млн т. Основную массу (около 80%) этих отходов представляют грунты, вынутые при дноуглубительных работах, 10% — отходы промышленности, 9% — отстой сточных вод, остальное — строительный мусор, взрывчатые вещества и радиоактивные отходы. Проблема захоронения последних рассматривается специально (разд. 8.3).

До сих пор неизвестны все, особенно долгосрочные, последствия захоронения отходов на больших глубинах. Однако в ряде случаев негативное влияние этого выявляется достаточно определенно.

Опасность для водных объектов рыбохозяйственного назначения представляет ряд металлов (мышьяк, сурьма, кадмий, свинец, ртуть, никель, хром и др.) с весьма низким ПДК (0,1-0,001 мг/л). Источником их попадания в море служат водопровод и канализация (свинец, ртуть), стоки автострад (кадмий, никель, хром, свинец), несанкционированные сбросы промышленных предприятий (кадмий, ртуть, хром, никель) и т.п. Как следствие, например, ртуть, сброшенная в море одним из химических заводов в Японии, попав в организм рыб, а затем на стол потребителей рыбной продукции, стала причиной инвалидности и даже смерти многих жителей страны Восходящего Солнца (разд. 2.6.2.2).

Крайне опасны некоторые органические вещества химических производств, ПДК которых для водных объектов рыбохозяйственного назначения составляют 0,003-0,0001 мг/л (анилин, пиридин, фенол и др.). Присутствие некоторых веществ в воде и их производство запрещены вследствие ярко выраженного кумулятивного эффекта этой органики, приводящего к ее накоплению в тканях животных и растений. Классическим примером такого случая является ДДТ, использовавшийся в качестве пестицида и обнаруженный впоследствии в четко измеряемых концентрациях в организмах антарктических пингвинов. Именно эта информация послужила основанием для запрещения не только использования ДДТ в сельском хозяйстве, но и его производства.

Большую потенциальную угрозу отдельным районам моря представляют затопленные артиллерийские снаряды и бомбы с боевыми отравляющими веществами. Так, значительные запасы химического оружия сброшены в различных районах Балтийского моря гитлеровской Германией в 1945 г., когда для нее стала очевидной неотвратимость полного поражения в ближайшее время. Места сбрасывания этого страшного оружия документально не зафиксированы. Следует добавить, что уже после Второй мировой войны, в 1946-1978 гг., западными странами-победительницами в Балтийском море на глубине 100-150 м затоплено 357 тыс. т боеприпасов и контейнеров фашистской Германии (Довгуша...).

По расчетам специалистов, в результате водной коррозии снарядные оболочки в настоящее время близки к разрушению с соответствующей утечкой ядовитых газов. Возможно, что часть их уже разрушена. Некоторые вероятные сценарии последствий этого предсказывают экологическую катастрофу всего бассейна Балтийского моря (разд. 1.8.4).

Резюмируя изложенное по размещению отходов в море, следует сказать, что в настоящее время отсутствуют специальные руководства, требования и стандарты по такому захоронению. Достаточно очевидно, однако, что районы последнего должны находиться вне континентального шельфа, на расстоянии не менее 40 км от берега. В море можно сбрасывать лишь материалы, плотность которых выше, чем морской воды. Все другие отходы необходимо затоплять в контейнерах, герметичность и прочность которых гарантируют охрану окружающей среды.

7.3. Локальное размещение

7.3.1. Поверхностные хранилища

Как уже отмечалось, отходы предприятий весьма разнообразны по свойствам и воздействию на окружающую среду. Они состоят, как правило, из активных веществ, которые, накапливаясь в почве, подземных водах и атмосфере, постепенно загрязняют их. Чтобы предотвратить заражение подземных вод и поверхностных источников, используют различные накопители. Конкретные их типы и способы возведения в каждом случае определяются местными условиями и характером отходов.

Одним из основных способов захоронения крупнотоннажных твердых, жидких и пастообразных отходов является их складирование в поверхностных хранилищах. Хотя данные материалы обычно не относятся к токсичным, однако в случае неправильного размещения или конструктивных недостатков хранилища возможно значительное загрязнение почвы и водоемов. Для исключения этого стремятся предупредить фильтрацию через ложе хранилищ и ограждающие их дамбы и плотины, организуют перехват просачивающихся вод экранами из естественных грунтовых или искусственных материалов. Из первых лучшие противofильтрационные свойства имеют тяжелые суглинки и глины. Их толщина в ложе хвостохранилищ может достигать 3 м. К искусственным относятся шламистые материалы, полиэтиленовые пленки, асфальтобитум, асфальтополимербетон. Используется также ряд добавок к естественным и искусственным материалам: синтетические смолы, жидкое стекло, ПАВ и др. Противofильтрационные экраны можно выполнять однослойными, многослойными, из одного или нескольких материалов, с дренажными устройствами и без них. Отметим особенности экранов из некоторых материалов.

Широко распространены экраны из суглинка — массового и дешевого материала. Недостатки этого покрытия проявляются при экранировании больших площадей: в этом случае требуются сотни тысяч кубометров грунта и большие объемы трудоемких работ, связанные с его послойной укладкой и укаткой. Кроме того, экраны из суглинка не исключают полностью фильтрации и с течением времени разуплотняются.

Высокодисперсные глины используют при изготовлении экранов толщиной более 0,3 м, создаваемых послойной укладкой и уплотнением материала. Из глин сооружают также противofильтрационные стенки. Недостаток этого варианта — сезонность работ: в зимнее время нарушается процесс диспергации глинистых частиц в растворах, что резко ухудшает их отложения на грунтах, подлежащих экранированию.

Шламистые материалы применяют для создания противофильтрационных экранов на хвостохранилищах. Экран формируют, подавая пульпу в хвостохранилище таким образом, чтобы илистые частицы осаждались на заданных участках отстойного пруда. Такие экраны требуют значительных затрат на их формирование.

Асфальтобитумные и аналогичные им покрытия обладают хорошими эксплуатационными свойствами. При их создании слой крупнозернистого асфальтобетона толщиной 5 мм укладывают по выровненному и уплотненному катками основанию. Затем на асфальтобетон наносят три слоя по 2 мм битумно-латексной эмульсии. Поверх нее укладывают рулонную металлическую сетку из проволоки диаметром 3 мм, образующую ячейки 100×100 мм. Ее покрывают слоем мелкозернистого асфальта толщиной 3 мм. Перед нанесением первого слоя асфальтобетона все ложе накопителя обрабатывают гербицидами, чтобы исключить прорастание семян растений, способное нарушить целостность экрана.

Полимерные синтетические пленки в последние годы получили наиболее широкое распространение. Тем не менее им присущ ряд недостатков: легкость механического повреждения, трудности с обеспечением герметичности при значительных площадях покрытия, высокая чувствительность к растягивающим усилиям. Поэтому при использовании синтетических пленок необходимы тщательная планировка поверхности, удаление растительных остатков и крупных включений из грунта. Кроме того, полимерные материалы могут оказаться нестойкими к воздействию химических компонентов стоков, а после начала эксплуатации поверхностного хранилища они становятся практически недоступными для ремонта.

Наиболее эффективны *комбинированные противофильтрационные экраны*, представляющие собой сочетание полимерных пленок с грунтовыми материалами. Их выполняют грунто-пленочными или грунто-пленочными с дренажем. В первом случае полимерная пленка укладывается между двумя слоями слабопроницаемых глинистых грунтов, в которые добавлены синтетические смолы, битумы, цементы и другие материалы, увеличивающие противофильтрационные свойства глинистых грунтов. Во втором случае дренажное устройство отводит фильтрат, проникающий через уложенную пленку. Схема этого устройства может выглядеть следующим образом. На естественную поверхность ложа укладывают слой песка толщиной 30 см, затем настилают пленку. На нее кладут второй слой песка высотой 15 см и слой глины толщиной 30 см. В слое, расположенном ниже полимерной пленки, оборудуют песчаный фильтр с перфорированными трубами, обеспечивающими сбор и отвод загрязненных вод, проникающих через пленку. Аналогичные фильтры создают также в глинистых и песчаных слоях,

расположенных над полимерной пленкой. Комбинированные экраны несложны в исполнении, надежны в работе, но отличаются высокой стоимостью изготовления.

Конструкция поверхностных хранилищ зависит от рельефа местности. В настоящее время выделяют равнинные, косогорные, овражные, пойменные и речные, а также котлованные и насыпные конструкции.

Хранилища *равнинного* типа располагают на малопересеченной местности. Выбранные участки с небольшими естественной впадиной или уклоном ограждают со всех сторон дамбами — гидротехническими сооружениями в виде вала из земли, камня или бетона. Отходы сбрасывают внутрь образованного искусственного бассейна. Если они представлены жидко-твердой фазой, то происходит их осветление за счет осаждения твердого; отстоянную воду откачивают как оборотную.

Особенностью данного типа хранилищ является относительно небольшой приток талых и дождевых вод и устройство дренажных канав для сбора фильтрующих вод практически по всему периметру сооружения. К достоинствам относится возможность прекращения эксплуатации объекта без значительных материальных затрат.

Хранилища *косогорного* типа сооружают на склонах возвышенностей, насыпая дамбы с 3 сторон. Осветленные воды отводятся водосборными сооружениями, через которые спускают также паводковые и дождевые воды. Последние могут удаляться и по специально сооружаемым каналам.

Хранилища *овражного* типа возводят в оврагах и балках, выход из которых перегораживают дамбой. Объем паводковых и дождевых вод в данном случае может быть значительным, превышая количество осветленных вод в несколько раз. В этом варианте паводковые воды необходимо пропускать через водосборные сооружения хранилища или аккумулировать их.

Хранилища *пойменного* типа располагаются в поймах рек с наклоном к последним. Дамбы хранилищ возводят с 3 сторон. В хранилищах такого типа требуется особая защита низового откоса дамбы от воздействия реки во время половодья. Следует также предотвращать попадание в нее фильтрующихся через дамбу сточных вод хранилища. Поэтому дамба со стороны реки имеет сложную конструкцию, обеспечивающую ее прочность и неразрываемость.

Хранилища *речного* типа строят в долинах рек, которые в двух местах перегораживают плотинами. Эти сооружения являются наиболее сложными и дорогостоящими, так как необходимо отводить реки на участке между плотинами, обычно через тоннели или коллекторы. Такие хранилища создают в исключительных случаях, при невозможности устройства объектов других типов.

На сильнопересеченной местности можно располагать хранилища *комбинированного* типа (равнинно-овражные, косогорно-равнинные и др.).

В настоящее время используют преимущественно сооружения равнинного, косогорного и овражного типов.

Во всех видах хранилищ водосборные устройства выполняют в виде донных труб или тоннеля.

В последние годы созданы новые типы хранилищ. Так, институт «МосводоканалНИИпроект» разработал и частично внедрил экономичные индустриальные технологии депонирования обезвоженных осадков сточных вод (Вайсфельд...). Они предусматривают два варианта: складирование в специально подготовленный котлован (рис. 7.7) или в виде насыпных холмов (рис. 7.8).

При депонировании осадка в *котловане* по его периметру в грунте обустраивается стена из глиноцементного замка, предотвращающего фильтрацию загрязненных вод в подземные горизонты. Кроме противофильтрационной стены, в целях экологической безопасности дно котлована выстилается ковровым покрытием из специального материала «бентомата», который после поливки водой разбухает, приобретая вязкую, глиноподобную консистенцию, создавая гидронепроницаемый слой. Укладка осадка в котлован производится экскаваторами, располагаемыми по его краям. В случае большой ширины котлована по его дну прокладываются железобетонные ряжи для прохода экскаватора, которые впоследствии захороняются в осадке. Осадок поверху засыпается слоем песка, на который накладывается бентоматовый замок. Для окончательной рекультивации бентоматовый (бентонитовый) слой по-

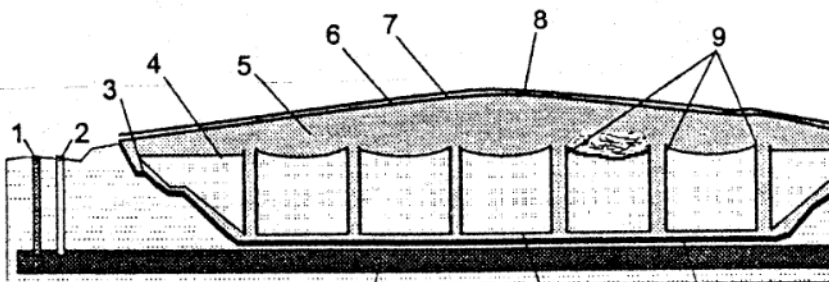


Рис. 7.7. Схема депонирования осадка в специальном гидротехническом сооружении котлованного типа:

- 1 — ПФЗ; 2 — дренажные скважины; 3 — дренаж; 4 — осадок (9,5 м); 5 — песчаный грунт (2,5-6 м); 6 — экран из бентонитовых матов (0,01 м); 7 — песчаный грунт (0,7 м); 8 — растительный грунт (0,3 м); 9 — ряжевые перегородки; 10 — юрские глины (1,9-6 м); 11 — надюрские глины

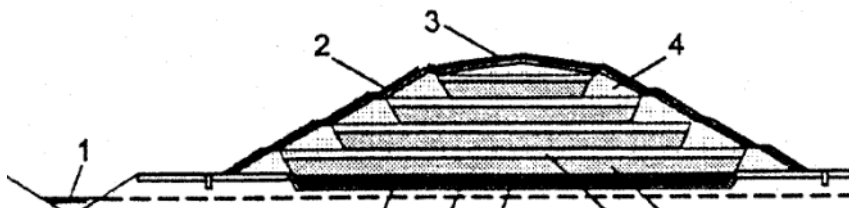


Рис. 7.8. Депонирование осадка в виде насыпных холмов при отсутствии в основании полигона водоупорных слоев:
 1 — дренажный канал; 2 — глиняный экран; 3 — растительный слой грунта; 4 — дамба обвалования; 5 — осадок сточных вод (влажность 60-65%); 6 — песчаный слой перекрытия; 7 — дренажный слой; 8 — трубчатый дренаж

крывают защитным слоем песка и слоем земли, в последующем засеваемым травой.

Для котлованного (подземного) захоронения разработано несколько вариантов: складирование осадка без наполнителя; траншейная укладка без наполнителя; совместное захоронение осадка с твердыми бытовыми, промышленными отходами или грунтом. Для предотвращения вторичного выделения газов в теле захороненного осадка устраиваются специальные скважины, оборудованные на оголовках газовыми биофильтрами, или осуществляется послойное известкование укладываемого осадка.

При высоком расположении грунтовых вод альтернативным котлованному депонированию является вариант создания *обвалованных насыпных холмов*, представляющих озелененные ландшафтные парковые объекты.

В этом варианте осадок складировается над уровнем поверхности земли, а основания холмов закладываются выше максимального паводкового уровня подземных вод во избежание подтопления участков депонирования. Захоронение осадка производится без добавления грунта послойно: 2 м осадка и 1 м песка в качестве перекрытия. Общая высота холмов 12-15 м, поверх последнего песчаного слоя укладывается противодиффузионный слой из глины толщиной 0,5 м и слой грунта, на который высевается трава и высаживается кустарниковая растительность. В результате каждый могильник осадка представляет собой пологий террасный холм с крутизной откосов 7,5-9°, покрытый растительностью. Предотвращение загрязнения окружающей среды возможными водными или газовыми выбросами в этом варианте предусматривается теми же способами, что и в траншейной технологии.

По агрегатно-фазовому составу принимаемых отходов все поверхностные хранилища можно разделить на накопители жидких однофазных и многофазных (гетерогенных) стоков, а также твердых отходов. К первым относятся пруды-накопители, пруды-испарители, ко вторым — хвосто- и шламохранилища, отстойники, к накопителям твердых отходов — золо-, шлако-, шламоотвалы и др.

Накопители однофазных стоков принимают практически гомогенные интенсивно окрашенные промышленные сточные воды с сильным запахом, содержащие большое количество солей. При высоком (более 100 г/л) содержании соли, представленной по преимуществу одним соединением, сточные воды целесообразно упаривать с целью извлечения выпавшего в осадок вещества. В эти же накопители сливают промышленные стоки с большим количеством растворенных органических веществ, извлечение которых экономически нецелесообразно, а также отработанные кислоты (серную, соляную, азотную и др.) различных концентраций. В накопителе не следует отправлять загрязненные стоки, которые после обработки на очистных сооружениях можно было бы сбрасывать в водоемы, или условно чистые и слишком концентрированные сточные воды, например соляную кислоту.

Основу пруда-накопителя-испарителя составляют дамба и противofильтрационная завеса из водонепроницаемого материала, заглубленная до слоя глины (рис. 7.9).

Накопители многофазных стоков принимают водные суспензии (система твердое — жидкое) минеральных и органических веществ различного состава с концентрацией твердого 20-100 г/л. Это, как правило, отходы процессов очистки и подготовки сточных и природных вод, основных технологических процессов. Их направляют в хвосто- и шламохранилища. В накопителях в процессе отстаивания взвесь переходит в осадок, а вода осветляется.

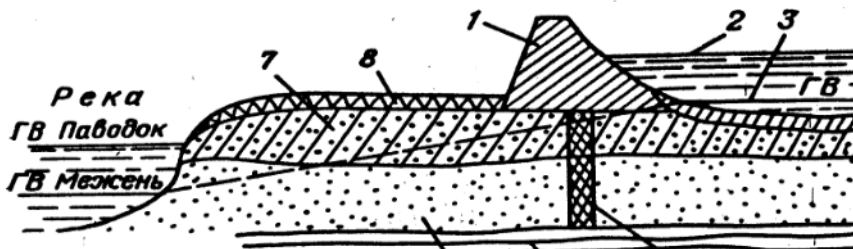


Рис. 7.9. Пруд-накопитель-испаритель:

- 1 — дамба обвалования; 2 — максимальный расчетный уровень стоков; 3 — горизонт воды (ГВ) в озере-солончаке до устройства пруда; 4 — противofильтрационная завеса из бентонитовых глин; 5 — глина; 6 — пески; 7 — суглинки; 8 — почва

Хвостохранилища предназначены для сбора пульповых отходов основных производств предприятий, прежде всего обогатительных фабрик черной и цветной металлургии. Они являются ядром хвостового хозяйства, состоящего из комплекса сооружений и установок гидравлического транспортирования и укладки отвальных продуктов этих предприятий. Жидкую часть пульпы после осветления последней в отстойном пруду и обработки в очистных сооружениях используют в оборотном водоснабжении фабрик (рис. 7.10).

По способу возведения хвостохранилища подразделяют на *намывные* и *наливные*. В сооружениях первого типа при укладке хвостов ограждающие сооружения (дамбы обвалования) возводят намывом хвостов в течение всего времени эксплуатации хранилища. У наливных хвостохранилищ ограждающие дамбы сразу возводят на проектную высоту.

В России на различных предприятиях эксплуатируют множество хвостохранилищ: только на фабриках обогащения руд цветных металлов более 100, руд черных металлов — свыше 40. Капитальные вло-

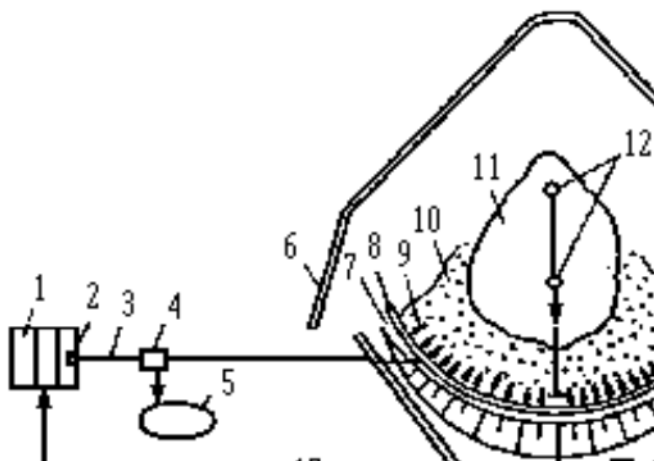


Рис. 7.10. Схема сооружений хвостового хозяйства:

- 1 — обогатительная фабрика; 2 — хвостовой зумпф; 3 — магистральный хвостопровод; 4 — пульпонасосная станция; 5 — аварийный бассейн; 6 — нагорная канава для отвода поверхностных вод с водосборной площади; 7 — дамба хвостохранилища; 8 — распределительный хвостопровод; 9 — выпуски хвостовой пульпы; 10 — отложения хвостов (пляж); 11 — отстойный пруд; 12 — водоприемные колодцы; 13 — дренажная канава; 14 — дренажная насосная станция; 15 — очистные сооружения; 16 — насосная станция оборотного водоснабжения; 17 — трубопровод оборотной воды

жения в сооружения хвостового хозяйства составляют 10-35% стоимости горно-обогатительных комбинатов, эксплуатационные расходы достигают 30% затрат на переработку полезных ископаемых при числе занятых, равном 7-9% персонала обогатительных фабрик.

По степени ответственности сооружений и последствиям их разрушения хвостохранилища делят на 5 классов. К первому относятся сооружения с вместимостью 100 млн м³ и более, относящиеся к особо ответственным. Их авария сопряжена с катастрофическими последствиями для населения и предприятий, а также с отравлением, загрязнением водоемов и водотоков питьевого назначения. Пятый класс представляют временные сооружения вместимостью не более 10 млн м³, авария которых вызывает затопление земель и загрязнение водоемов, не пригодных к использованию в данное время.

Параметры наиболее крупных хвостохранилищ 1-2 классов весьма внушительны: объем 250-570 млн м³, площадь до 3700 га, проектная высота ограждающих сооружений до 320 м, количество воды в отстойном пруду 1-60% их вместимости (Чуянов; Гофман).

Шламохранилища создают в системах водоснабжения и канализации химических, нефтехимических, углеобогатительных, машиностроительных и других предприятий. Они представляют собой крупные земляные наземные сооружения объемом до нескольких десятков миллионов кубометров и глубиной до 50 м, рассчитаны на сроки службы свыше 10 лет. Средняя площадь шламонакопителей составляет 10-20 га, количество сбрасываемых в них осадков равно 30-40 тыс. т/год.

Шламохранилища строят по одно- или многокаскадному принципу. Строительство включает создание плотины, берегов и чаши хранилища. Их снабжают противофильтрационными устройствами, выполненными из глинистых, битумных и полимерных материалов в один или несколько слоев. Дренажная система позволяет отводить стоки из хранилища для обезвреживания или повторного использования.

Шламохранилища возводят на равнинных плоских участках местности и обваловывают со всех сторон или частично (на участках местного понижения рельефа). Дамбы обвалования и перегораживающие плотины возводят насыпным способом из суглинистых материалов. Иногда предусматривают и намывные плотины. По гребню плотины прокладывают дорогу и пульпопроводы. Гребень должен иметь защитное покрытие и систему кюветов для сбора и отвода поверхностных вод. Пульпу подают в шламохранилища по схемам, аналогичным используемым для хвостохранилищ.

Наряду со специально возводимыми сооружениями шламохранилища размещают также на естественном рельефе местности: в пологих оврагах, балках и выработанных карьерах.

Отстойники широко используют в ряде областей народного хозяйства, но наиболее масштабно — в животноводстве (навозные отстойники для хранения и биостабилизации органического материала). За рубежом распространены механически аэрируемые навозные отстойники. Их обычная глубина 2,5-3,0 м, но и при ее значениях до 6,0 м они также работают удовлетворительно. Чтобы отстойники не пропускали загрязненные воды в грунтовые, стенки и дно их герметизируют бентонитовой глиной, цементом, синтетической пленкой и т.п. Без такой герметизации грунтовые воды значительно загрязняются,

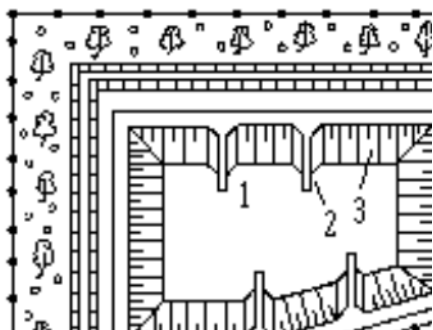


Рис. 7.11. Накопитель твердых отходов:

- 1 — чаша; 2 — эстакада;
3 — откосы накопителя; 4 — лесопосадка; 5 — водоотводная канава

прежде чем твердый навоз и биологические осадки образуют естественное противofильтрующее покрытие.

Наиболее существенный недостаток отстойников навоза — их зловоние. Оно же требует их регулярной очистки. Ее частота снижается при использовании отстойников большой вместимости и только в такое время года, когда сточные воды и навоз нельзя распределять на поверхности земли, например в зимнее время. Механическая аэрация также уменьшает распространение резких запахов.

Накопители твердых отходов (рис. 7.11) предназначены

для складирования шлаков, обезвоженных шламов общезаводских очистных сооружений и хвостов обогащения, золы и т.д. Конструктивно они подобны хвосто- и шламохранилищам, занимая площади около 5 га и имея глубину около 10 м. Для предотвращения попадания в накопители ливневых и талых вод в местах их вероятного стока устраивают ограждение насыпи шириной 4 м по гребню. Во избежание загрязнения грунтовых вод избыточной влагой отходов создают два противofильтрационных экрана: один по ложу, другой (после заполнения накопителя) — на выровненной внешней поверхности. Нижний экран состоит из двух слоев полимерной пленки толщиной по 0,2 мм, верхний экран представляет собой полимерный слой толщиной 0,6 мм.

Последний получают разбрызгиванием разогретого до 80°C раствора синтетических жирных кислот по подготовленному слою грунта.

Поскольку твердые отходы, особенно высокодисперсные, загрязняют воздушный бассейн, их размещают на определенном расстоянии от промышленных сооружений и населенных пунктов, учитывая розу ветров. В частности, для накопителей сухих хвостов обогащения расстояния должны составлять, м: до населенного пункта — более 500; до линий электропередач — свыше 300; до административных зданий и вспомогательных сооружений — соответственно не менее 50 и 20.

Вокруг накопителя твердых отходов, с целью снижения пыления из верхнего пылеватого слоя, высаживают лесополосу из деревьев и кустарников. Дополнительно ставят также ограждение из колючей проволоки на железобетонных столбиках, которое защищает участок от проникновения домашних животных.

Складируемый материал сбрасывают в накопитель с эстакад и гребня ограждающей насыпи. После его заполнения и создания верхнего экрана сверху насыпают слой песчаного (0,6 м) и по нему — почвенно-растительного (0,5 м) грунта. После выполнения указанных работ площадка накопителя может быть возвращена в сельскохозяйственный оборот.

Поверхностные хранилища отходов, особенно жидкофазных, относятся к категории объектов, требующих постоянного наблюдения и контроля. Несоблюдение правил эксплуатации может привести к разрушению хранилища, дренированию стоков, а в случае прорыва плотины — к попаданию огромных количеств токсичных отходов в окружающую среду и гибели людей. Так, известна крупная катастрофа 1966 г. в Афербане, когда масса угольных отвалов сползла со склона горы и накрыла школу, похоронив 144 человека, в том числе 116 детей (Рис...).

Мировая и отечественная практика знает также значительное число аварий хвостохранилищ и им подобных сооружений. Основные их причины: пренебрежение безопасными размерами намытого пляжа и уреза воды пруда-отстойника, формирование дамб обвалования из мерзлого материала, минимальное превышение гребня дамбы над уровнем воды, недостаточная эффективность водосборных сооружений. Из-за неисправности последних происходит ~40% всех аварий, из-за разрушения дамб обвалования — 60%. Отметим наиболее крупные аварии, повлекшие большие человеческие жертвы.

В 1928 г. землетрясением была разрушена ограждающая дамба хвостохранилища медного рудника «Барахона» в Чили. В долину хлынуло около 4 млн т хвостов. Погиб 51 человек.

Землетрясение 1956 г. в центральной части Чили полностью разрушило два хвостохранилища медных рудников и обогатительных фаб-

рик. Более 2 млн т хвостов вырвалось в долину, захватив часть г. Эль Кобре. Погибло около 200 жителей.

В 1972 г. дождевыми и паводковыми водами разрушило хвостохранилище углепромысловых фабрик Буффало-Крик (США). Погибло 125 человек.

В 1972 г. на Сорском молибденовом комбинате (СССР) в водотводном канале образовалась ледяная перемычка, вследствие чего был переполнен отстойный пруд. Вместе с глыбами льда хлынувшие хвосты обогащения затопили и разрушили дачные постройки, расположенные у низового откоса плотины. Погибло 17 человек.

Человеческими жертвами сопровождались также аварии хвостохранилищ ЮАР: на предприятии «Циммер и Джек» в 1937 г., комбинате «Грубвлей» в 1956 г., возле г. Ростенбурга в 1974 г.

Анализ рассмотренных и других многочисленных аварий показал, что их предупреждение зависит как от соблюдения правил эксплуатации хвостовых хозяйств, так и от полноты изучения комплекса инженерно-геологических, технологических и природно-климатических условий, их учета при проектировании гидротехнических сооружений.

7.3.2. Подземное захоронение

Захоронение в подземных полостях получает все большее распространение, особенно применительно к промстокам. В этом методе привлекает снижение загрязненности поверхностных вод, отсутствие необходимости полного обезвреживания стоков, экономическая перспективность. Для подземного захоронения можно использовать уже оставленные выработки различных рудников и шахт. Их проходят, как правило, в плотных устойчивых породах (глины, гипсы, каменная соль, глинистые сланцы и др.). Полости для захоронения создают и специально, например камуфлетными взрывами в пластичных глинистых или горными проходками в устойчивых породах, выщелачиванием или размывом в отложениях каменной соли.

Выбор участка захоронения предусматривает учет геологических, гидродинамических и санитарных критериев. Так, подземные полости на протяжении всего срока захоронения отходов не должны разрушаться под действием внешнего (горного) и внутреннего давления. Эту устойчивость необходимо обеспечивать без возведения сплошной дорогостоящей крепи. Нужно исключить фильтрацию токсичных отходов за пределы полости. Ее стенки должны быть инертны к их воздействию. Без соблюдения перечисленных требований возможно проникновение токсичных веществ из подземных полостей в водоносные горизонты.

Жидкие отходы закачивают также в высокопроницаемые породы, в основном песчаники и известняки, расположенные ниже водоносных слоев и изолированные от них слабопроницаемыми породами. При этом пласт, в который закачиваются отходы, не должен выходить на поверхность. Глубина большинства скважин для захоронения колеблется от 300 до 600 м, но в отдельных случаях достигает 2,5 км.

Сточные воды, размещаемые в подземных горизонтах, необходимо подготовить таким образом, чтобы аппаратура их прокачки не подвергалась быстрой коррозии. В них не допустимо большое количество взвеси, волокон, коллоидных частиц, органических осадков, а также масел, жиров, парафинов, осмоляющих веществ, составов, провоцирующих деятельность бактерий. Их наличие может привести к очень быстрой закупорке призабойной зоны скважины и выходу ее из строя.

Подземное захоронение стоков достаточно экономично. Капитальные вложения в строительство скважин для закачки в пласты в 2,0-2,5 раза ниже, чем в строительство стандартных очистных сооружений; эксплуатационные расходы меньше в 3,6 раза. Затраты остаются более низкими, если даже осуществляется подготовка стоков перед подземным захоронением.

Закачка стоков получила распространение в ряде стран. Начало использования метода относится к 20-м годам прошлого столетия (Доу кемикл компани).

В США оно разрешено законодательством большинства штатов. Более половины зарегистрированных скважин приходится на химические, фармацевтические и нефтехимические предприятия.

В Канаде в качестве пластов-коллекторов большей частью выбирают горизонты, залегающие на глубине свыше 1000-1500 м, что, вероятно, обусловлено соображениями экономического характера. Захоронение отходов производится через 1-2 хорошо оборудованные скважины большого диаметра.

Жидкие отходы калийной промышленности в восточной части Германии (земли Тюрингия и Гессен) сбрасываются под землю с 1925 г. До 1960 г. туда поступило 170 млн м³ стоков (в среднем 20-30 тыс. м³/сут). Отходы представлены концентрированными (300-400 г/л) растворами хлористых натрия и магния, сульфата магния, закачиваемыми в трещиноватые известняки и плитчатые доломиты, залегающие на глубине 50-500 м. Мощность поглощающих пластов составляет 10-15 м, их трещиноватость — 10%.

Известно относительно близко расположенное к поверхности (на глубине 50 м) хранилище-пещера объемом 25 тыс. м³ на остров Джерси (пролив Ла-Манш, Великобритания). Из хранилища сточные

воды перекачивают на очистные сооружения или сбрасывают в море через глубинный рассеивающий выпуск.

В России подземное захоронение промышленных стоков преимущественно связано с удалением сточных вод газо- и нефтепромыслов. Так, в Башкирии их сброс в поглощающие горизонты производится с 1955 г. в объеме нескольких тысяч кубометров в сутки. Эти воды отличаются высокой минерализацией (до 400 г/л суммы натрия, кальция, магния, хлора и др.), во многих случаях имеют значительное содержание сероводорода.

Хотя закачка сточных вод — один из наиболее дешевых методов, его используют в достаточно ограниченных масштабах. Во-первых, не все жидкие отходы в силу их специфических физико-химических свойств можно сбрасывать в глубинные горизонты. Во-вторых, подземное захоронение относится к одному из видов пользования недрами и в этом качестве по действующему законодательству допускается только в исключительных случаях.

Наряду с жидкими стоками подземное размещение иногда применяют к твердым отходам. В частности, реализовано размещение отходов в отработанных железорудных шахтах (Isleif). Известно предложение о захоронении и утилизации муниципальных ТБО в выработанных пространствах угольных шахт. При этом размещенные отходы продувают потоком вентиляционного воздуха. Смесь последнего с газообразными продуктами биологического разложения отходов направляют в топку парового котла шахтной котельной, работающей на угле. Газообразные продукты биоразложения полностью сгорают, золу и шлак складывают в выработках шахты (Федоров...).

К недостаткам метода подземного захоронения относятся:

- невозможность надежного контроля за распространением в пласте загрязняющих веществ;

- необратимое загрязнение многих подземных формаций;

- отсутствие информации о поведении отходов при их контакте с роторами и породами формации в условиях повышенных температур и давлений;

- вероятность образования более токсичных соединений при химическом взаимодействии между безвредными исходными компонентами;

- возможность попадания отходов в естественные подземные потоки, служащие источником водоснабжения населения и промышленных предприятий. Это имело место в различных районах США, Франции, Германии и других стран. Данная опасность возрастает с увеличением продолжительности хранения.

7.4. Экологические проблемы размещения отходов

Отходы — вещества разнообразного химического состава, зачастую включающие опасные химические соединения. Во многих случаях они находятся в химически активном фазовом состоянии (жидкости, твердые дисперсии, газы). Некоторые из них обладают специфическими свойствами (взрыво- и пожароопасностью, токсичностью, канцерогенностью, мутагенностью и др.). По указанным причинам отходы могут представлять угрозу здоровью и жизни людей, окружающей среде практически на каждой из стадий обращения с ними: при образовании, сборе, транспортировании, размещении, переработке.

В момент образования опасны, например, разбившиеся стеклянные изделия или появляющаяся при резании металлов стружка. В настоящее время твердо установлена канцерогенность асбеста, поэтому все асбестовые отходы необходимо помещать в герметичные пыленепроницаемые мешки. Заметно вредны, начиная с момента возникновения, все отходы I-II классов опасности.

Особое место занимают медицинские отходы. В них в очень больших количествах присутствуют болезнетворные бактерии. Наибольшая масса колиформ встречается в отходах отделений интенсивной терапии, педиатрических и психиатрических. Все медицинские отходы необходимо хранить в закрытых пластмассовых коробках и мешках, удалять отдельно от других загрязнителей. Существенная опасность распространения заражения возникает при совместной стирке больничного и обычного белья.

В контейнерах большую угрозу представляют различные жидкие вещества, например кислоты и щелочи. Известны случаи отравления и смерти детей, игравших с емкостями для хранения пестицидов.

Существует ряд опасностей, связанных с неправильным обращением с отходами при транспортировании и в местах их размещения. В этом случае возможны, в частности, пожары и взрывы.

Взрывы инициируются не только при неосторожном обращении с соответствующими веществами. При определенных обстоятельствах они реализуются, например, в больших количествах безвредных материалов. Так, известно о взрывах пластмасс при загрузке их в печи сжигания. Вероятно, в этом случае газы, выделяющиеся при пиролизе пластмасс, смешиваясь с другими продуктами горения и дутьем, могут создавать взрывоопасные концентрации. Не исключена также возможность взрывов газа, образующегося при анаэробном разложении органических отходов и в других случаях.

В больших скоплениях органических материалов реально самопроизвольное возгорание. Часто это происходит при их окислении с участием анаэробных бактерий, когда количество выделившегося вследствие биохимических превращений тепла превышает отводимую тепловую энергию. Это происходит, если масса еще не реагировавших веществ как бы «теплоизолирует» очаг саморазогрева. Особенно склонны к самовозгоранию сельскохозяйственные отходы (сена, соломы), пылеватый уголь и другое тонкоизмельченное топливо (опилки, щепки). Наиболее продолжительны и опасны подповерхностные пожары свалок. Начавшись, они иногда продолжаются 20 лет и более. Потушить их исключительно трудно или практически невозможно. Со временем вероятно обрушение выгоревшего пространства с проседанием поверхности, что весьма опасно для людей и сооружений, возведенных на бывшей свалке после ее рекультивации.

Для предотвращения самопроизвольного возгорания отходов нет общих рекомендаций. Тем не менее следует избегать очень сухих или очень влажных условий хранения мусора, особенно при высоте его слоя, превышающей 2-3 м.

Некоторые данные свидетельствуют о заметном вкладе пожаров твердых отходов в ухудшение экологической обстановки. Так, по Москве выезды на пожары, связанные с загоранием отходов, составляют до 40%. При этом горение мусора сопровождается гибелью людей. Только в период с января 1992 по май 1994 г. число человеческих жертв достигло 40. И хотя оценки показывают, что доля вредных веществ, образуемых горящим мусором, составляет ~2% от суммы всех загрязнителей в атмосфере Москвы, а в пожарах уничтожается менее 1% ТБО, экологический ущерб значительно превышает эти цифры. Горение отходов в условиях пожара существенно опаснее для людей и окружающей среды, чем на мусоросжигающих установках: относительно невысокий температурный режим пожара оптимален для образования токсикантов типа диоксинов и фуранов, полициклических углеводородов в целом. Число токсичных доз отдельных веществ в продуктах горения составляет миллионы и миллиарды единиц в расчете на душу населения: аэрозоли, органические кислоты, альдегиды, ртуть, диоксины и фураны — $(2-16) \cdot 10^{11}$; свинец — $3 \cdot 10^{10}$; аммиак, фтористый водород, оксид углерода, диоксид серы — $(4-11) \cdot 10^9$; хлористый водород — $2 \cdot 10^7$; кадмий — $3,4 \cdot 10^6$ (Исаева...).

Однако основные экологические проблемы связаны с непосредственной эксплуатацией мест размещения отходов. Они обусловлены загрязнением атмосферы газами МСУ и анаэробного разложения отходов, поллютацией территорий и подземных вод ареалов, прилегающих к полигонам.

Состав вредных компонентов, подлежащих улавливанию из дымовых газов МСУ, определяется многими факторами, например видом отходов и топлива, конструкцией и режимом работы камер сжигания, требованиями, предъявляемыми к выбросам. Этот состав весьма разнообразен и, помимо обычных продуктов сгорания топлива (оксиды углерода, серы, азота), включает галогены (хлористый и фтористый водород и др.), парообразные соединения некоторых цветных металлов, диоксины, фураны и т.д. (табл. 7.4).

Примерный состав дымовых газов МСУ после котла-утилизатора: HCl — 250, HF — 10, NO_x и SO₂ — по 200 мг/нм³; диоксины и фураны — не более 10 нг/нм³; летучая зола и пыль — 5-15 г/нм³. После очистки выбросы МСУ, в соответствии с природоохранными стандартами ЕЭС, должны содержать не более (в тех же единицах): пыль — 10; HCl — 10; HF — 1; NO_x — 5; SO₂ — 50; диоксины — 0,1 (величина ПДК).

Таблица 7.4
Усредненные концентрации веществ в отходящих газах МСУ, мг/м³

Вещество	Россия	За рубежом	Вещество	Россия	За рубежом
Зола ¹	7,7	4	Cr	0,086	2,5
SO ₂	400	400	V	0,0081	—
NO _x	260	350	Cu	0,235	8,3
HCl	190	1100	Zn	—	82,5
HF	2,8	10	O ₂ ²	—	2-16
Cd	0,0073	1,0	Азот ²	—	81
Hg	0,00078	0,42	Диоксины ³	—	14-123
Co	0,0018	—	Фураны ³	—	10-98
Ni	0,013	0,83	ПХБ ³	—	8-26
Pb	0,067	43	ПАУ	—	653-29486
Mn	0,374	—	Хлорфенол ³	—	479-6591
As	—	0,25	Хлорбензол ³	—	4891-8906

Примечания: ¹ г/нм³; ² об. %; ³ нг/м³. Данные по содержанию Me в отходящих газах отечественных МСУ относятся к московскому заводу № 3 (Бирюлево).

Образование галогенов, диоксинов, фуранов и легколетучих хлоридов некоторых металлов имеет общую причину — наличие в ТБО соединений хлора, например в пластмассах (особенно в ПВХ), бумаге, картоне. Именно этим объясняется относительно высокое содержание перечис-

ленных веществ в газах зарубежных МСУ, перерабатывающих ТБО с большой долей галогенов. Заметное присутствие в отходящих газах цинка и свинца дополнительно объясняется повышенным парциальным давлением паров этих металлов при температурах сжигания. Некоторые металлы, например железо, хром, никель, менее склонны к хлорированию и в основном концентрируются в шлаке. При охлаждении дымовых газов большинство соединений металлов переходит в твердую фазу и адсорбируется частицами летучей золы. Зола улавливает также значительную часть диоксинов и фуранов. Ее плотность составляет 2,2-3,0 г/см³, а удельное электрическое сопротивление изменяется в весьма широких пределах — от 10² до 2·10⁸ Ом·см. В то же время один из наиболее токсичных металлов (ртуть) и некоторые его соединения не конденсируются и остаются главным образом в газовой фазе.

При обычном режиме сжигания мусора порядка 850-1000°С температура газов на входе в газоочистку составляет 220-240°С. Для улавливания загрязнений используют сухие, полусухие и мокрые методы.

Метод *сухой адсорбции* в последние годы нашел широкое применение. Он заключается в том, что в поток отходящих газов непосредственно в реакторе или газоходе вводится сорбент, обычно гидроксид кальция. Преимущество метода — отсутствие сточных вод, недостаток — повышенный расход адсорбента. Для интенсификации процесса адсорбции целесообразно снижать температуру газов до 140°С, что возможно при их кондиционировании водой (*полусухая адсорбция*). В данном методе снижается расход адсорбента, но не исключается образование сточных вод. При этом, однако, выпадающие (неиспарившиеся) капли воды, промывая газовый поток, захватывают наиболее крупные твердые частицы, в которых содержится основное количество соединений металлов, диоксинов и фуранов. Общая схема цепи аппаратов адсорбционной очистки включает сухие или полусухие скрубберы и финишную очистку в электро- или рукавных фильтрах. Она позволяет улавливать 99% большей части металлов (As, Sb, Cd, Pb, Ni, Zn) и 94-95% ртути.

Применение *мокрых методов* требует установки более коррозионно-стойкого оборудования, обуславливает образование значительных количеств сточных вод. Они целесообразны при небольших массах отходов и тогда, когда нужно обеспечить высокую степень очистки от ртути, диоксинов, фуранов, сернистого ангидрида и хлористого водорода.

Наиболее трудна очистка от ртути. В отходящих газах она содержится в виде элементарной, хлористой (Hg₂Cl₂), хлорной (HgCl₂), различных металлоорганических соединений типа метилртутьхлорида CH₃HgCl и диметилртути (CH₃)₂Hg. Соединения двухвалентной ртути, растворимые в воде и легко входящие в биосферные циклы, более опасны.

Эффективность очистки от ртути, диоксинов и фуранов существенно увеличивается при инжектировании в газоход после экономайзера мелкодисперсного активированного угля. Данное направление (*адсорбционно-каталитический метод*) опробовано на мусоросжигательных заводах Германии, Швеции, Японии и США. Выявлено, что при расходе угля 48 мг/м^3 газов улавливается до 98% ртути. Такова же степень улавливания диоксинов и фуранов при увлажнении дымовых газов, инжектировании извести в реактор с псевдоожиженным слоем и финишной очистке в рукавных фильтрах. Для хлористого водорода и сернистого ангидрида степень улавливания превышает соответственно 95 и 90%.

В последнее время предложен новый вариант адсорбционно-каталитического метода очистки газов МСУ от диоксинов. Он предусматривает использование высокодисперсных (удельная поверхность свыше $30 \text{ м}^2/\text{г}$) катализаторов на основе оксидов переходных металлов (вольфрама, молибдена, ванадия и особенно титана), актинидов, лантанидов, а также алюминия и кремния (цеолитов). Катализатор может инжектироваться в поток газов в виде суспензии с добавками угля, извести или известняка или использоваться в печах «кипящего» слоя в форме гранул разнообразной конфигурации. В обоих случаях температура газов не должна превышать 250°C .

Система мокрой очистки только от хлористого водорода и сернистого ангидрида может быть организована как практически бессточная. Для этого она должна включать два последовательно установленных скруббера Вентури. В первом из них водой улавливается хлористый водород, во втором — сернистый ангидрид с помощью раствора щелочи натрия. Воды первого скруббера нейтрализуют известью, затем стоки обоих скрубберов отправляют в распылительную сушилку. После испарения и последующей конденсации вода используется повторно. Подобные установки эксплуатируются в Западной Европе и Японии.

Финишная очистка газов МСУ до недавнего времени почти повсеместно осуществлялась в электрофильтрах. Однако исследования показывают, что по не установленным до конца причинам в электрофильтрах происходит увеличение концентраций диоксинов и фуранов, по некоторым данным — втрое. Это определяет наметившуюся тенденцию замены электрофильтров рукавными, обеспечивающими к тому же большую степень улавливания летучей золы. Чаще всего с целью защиты рукавные фильтры используют совместно с искрогасителями, устройствами предварительного увлажнения или охлаждения дымовых газов. Материалом для фильтрования служат ткани, 100%-й тефлон, стекловолокно и др.

Эффективность очистки дымовых газов рукавными фильтрами хорошо иллюстрируется данными по установке сжигания медицинских

отходов в Нидерландах, использующей в качестве фильтровальной ткани полиакрилонитриловый синтетический войлок. Снижение содержания в дымовых газах составляет: пыли — с 500 до 1 мг/м³ и менее; диоксинов и фуранов — с 2,2 до 0,05 нг/м³; ртути — с 240 до 20 мкг/м³ (Optimierete...).

В России первая промышленная установка, оснащенная рукавами из стеклоткани, с 1997 г. функционирует в Москве.

Снижению содержания диоксинов и фуранов при использовании рукавных и электрофильтров способствует предварительное улавливание грубой пыли в циклонах (Das...).

Весьма серьезные экологические проблемы создают биогазы (разд. 7.2.2). В меньшей степени они опасны, если полигоны ТБО или промышленных органических отходов оборудованы системами сбора и использования этих выделений, что бывает не всегда. На необорудованных полигонах газы находят самый легкий путь к поверхности не только в вертикальном, но и в горизонтальных направлениях, перемещаясь на довольно значительные расстояния. В некоторых случаях они проникают в подвалы домов и строений, вызывая летальные исходы и травмы (удушение, отравление или поражение взрывами воздушно-метановых смесей).

На одном из французских полигонов, где с 1979 по 1988 г. было размещено 400 тыс. т промышленных отходов, включавших илы, шламы сточных вод, материалы типа красок, клеев, лаков, спустя два года после прекращения захоронений масс-спектроскопический анализ выявил 300 видов ЛОС. Их суммарная концентрация в теле полигона составляла 2,9-25 г/м³, в его воздухе — 1,3-42 мг/м³, в ближайших жилых домах, расположенных в 100 м от захоронений, — 193-433 мкг/м³, в центре небольшого 6-тысячного города — 52-192 мкг/м³. Даже в последнем случае измеренные концентрации превышали ПДК (Case...).

Вредное воздействие газы полигонов оказывают на флору прилегающих территорий. Так, при исследовании экологической ситуации на одном из российских полигонов ПО выявлены выделения аммиака. Совместно с другими вредными факторами он губительно действовал на окружающую древесную растительность. В ближайшей к полигону зоне шириной 40-150 м полностью погиб подрост древесной растительности, количество угнетенных деревьев составляло 30-90%. Во второй, более удаленной, зоне шириной 20-450 м при частичной гибели елового подроста количество угнетенных деревьев достигало 30% (Иванов).

В соответствии с санитарными правилами ряда государств поверхностные захоронения органических отходов должны снабжаться кана-

лами, по которым выделяющиеся газы необходимо отводить в безопасное место. Для зданий, сооружений вблизи действующих или закрытых полигонов строительные нормы, как правило, предусматривают строгие стандарты, направленные на сооружение непроницаемых подвалов, герметизацию и вентилирование подземных служб.

Главная проблема, связанная с размещением отходов, заключается в вымывании из них вредных веществ с последующим загрязнением почв, грунтовых вод и образованием стоков. Основным вымывающим (выщелачивающим) агентом является дождевая вода, фильтрующаяся через слои отходов.

Детальные эколого-гигиенические исследования по загрязнению почв и вод были выполнены на вышеотмеченном российском полигоне ПО (введен в эксплуатацию в 1980 г.). Его общая площадь составляет 6,6 га, он расположен в обработанных песчаных карьерах глубиной от 5 до 10 м и полностью загружен шлаками переработки вторичного сырья цветной металлургии, имеющими следующий состав, %: черные металлы — 4-6; хлориды натрия и калия, оксид алюминия — по 20-30; металлический алюминий — 5-10; оксид кремния — 10-25; оксиды железа — 1-5; оксиды меди — 0,3-2,5; оксид кальция — 0,5-1,5; висмут, свинец, олово — сотые и тысячные доли.

Установлено, что в почве вокруг полигона в повышенных количествах присутствуют медь, олово, свинец, галлий, бериллий и т.д. Ширина зоны наибольшего загрязнения составила 50-500 м. На дальнем краю этой зоны сухой остаток подземных вод оказался равен 3 ПДК, алюминия — 5 ПДК, на удалении 1 км — соответственно 2 и 3 ПДК. Даже на расстоянии 5 км содержание алюминия превышало ПДК в 1,3 раза, сухой остаток достигал 700 мг/л, что значительно выше фона.

Под влиянием полигона в полосе шириной 50 м от его карты изменилась реакция почвы — от первоначальной кислой (рН 4,5-5,0) до нейтральной (рН 6-7) и даже щелочной (рН 7,7-8,0). В дикорастущих растениях обнаружили ряд металлов в концентрациях, в 1,5-2,0 раза превышающих фоновые (цинк, медь, свинец и др.), или в фоне отсутствовавших (галлий, иттрий).

На этом же полигоне выявлены тепловые аномалии в его толще, на поверхности и в контактирующих компонентах геосферы, обусловленные биохимическим разложением и химическим окислением отходов. Температура в их объеме, независимо от ее значений в окружающей среде, составляла в различных точках 37-45°C, доходя в некоторых участках до 80°C.

В целом обследование показали, что полигон является мощным источником загрязнения окружающей среды металлами, биогазом и аммиаком в радиусе 600 м. Принципиально не отличимые от изложенно-

го выводы получены при исследовании других полигонов, в частности для захоронения отходов кремнийорганических производств и ТБО. Загрязнение атмосферы и сточных вод в районах полигонов наблюдается спустя 20-50 лет после их закрытия. При этом БПК щелоков, выделяемых из поверхностных хранилищ, могут превышать 2000 мг/л, что примерно на два порядка больше, чем в других видах необработанных сточных вод.

Отходящие воды полигонов нуждаются в очистке, и в развитых странах этому уделяется большое внимание. Показателен пример Германии, на территории которой расположено 75 полигонов с объемом годовых стоков 30 млн м³. Из общего количества последних на городские очистные сооружения поступает 50%, очищается на локальных установках — 12, возвращается на полигоны для увлажнения мусора — 6, сбрасывается в водоемы без очистки — 10, неконтролируемо теряется 22%. Наиболее распространены физико-химические методы очистки: на 41 полигоне, в том числе на девяти — сорбционные способы, на шести — обратный осмос. Биохимическая очистка используется на 21 полигоне, окислительные химические методы — на одиннадцати.

В последнее время для обработки промывных вод старых свалок успешно применяется один из новых физико-химических методов — облучение пучком ускоренных электронов. При жестком облучении начальная концентрация органических загрязнителей снижается в ~1000 раз. Созданы как автономные стационарные, так и передвижные установки с единичной мощностью 20-100 кВт при удельных затратах на очистку стоков 0,4-0,7 немецких марок за 1 м³.

Внедряются также методы каталитического окисления вредных веществ дренажных сточных вод свалок, основанные на использовании пероксида водорода (катализатор — хлорное железо) при температуре до 250°C или при обычных температурах, но с ультрафиолетовым облучением. Эффективность деструкции соединений азота составляет при этом 95-99%, БПК₅ снижается с 500 до 30 мг/л, ХПК — с 2000 до 90 мг/л при расходе энергии около 3 кВт/м³ стоков (Kramplitz...; Mizier; Vanlaer...).

Радиоактивные отходы

8.1. Определение, источники образования и классификация

Появление радиоактивных отходов поставило перед человечеством глобальную проблему. Она состоит в разработке эффективной общей концепции и технических решений на всех стадиях обращения с этими материалами, включая их улавливание, концентрирование, упаковку, транспортирование, хранение и захоронение. Проблема возникла вместе с рождением и развитием атомной промышленности, энергетики, ядерного оружия, которые, как и все другие отрасли человеческой деятельности, породили свои, в данном случае радиоактивные, отходы.

К радиоактивным отходам относят не подлежащие дальнейшему использованию вещества и материалы технологического происхождения, в которых ионизирующая активность радионуклидов превышает допустимые уровни. Следует отметить, что РАО локализуются в относительно небольших объемах. Этим они отличаются от радиоактивных выбросов, которые поступают в окружающую среду неконтролируемо и рассеиваются в ней. От радиоактивных веществ природного происхождения РАО отличаются тем, что их активность определяется в основном не природными радионуклидами, поступающими в биосферу при извлечении радиоактивного сырья из недр, а искусственными, не существовавшими ранее в геосфере в ощутимых количествах. В принципе они могут содержать любые из 1300 известных радионуклидов, однако практически встречаются лишь те из них, у которых период полураспада составляет не менее нескольких часов. Ядра с меньшим временем жизни обычно исчезают еще при выполнении технологических процессов.

Источниками РАО являются:

- добыча и переработка радиоактивных руд;
- производство ядерного топлива и эксплуатация АЭС;
- переработка облученного ядерного топлива АЭС;
- производство оружейных материалов;
- эксплуатация и снятие с эксплуатации кораблей и судов с ЯЭУ;
- научно-исследовательские работы с использованием радиоактивных веществ и делящихся материалов;
- применение радионуклидов в медицине, науке и технике;

техногенные катастрофы с участием радиоактивных веществ.

Разработано несколько классификаций РАО. Для природопользования наиболее важны классификации по периоду полураспада (продолжительности существования), активности и агрегатному состоянию.

По периоду полураспада различают короткоживущие (менее 1 года), среднего времени жизни (1-100 лет) и долгоживущие элементы радиоактивных отходов. Последние представляют наибольшую экологическую опасность практически вечного порядка, так как среди них насчитывается около 20 элементов с периодом полураспада свыше 10000 лет (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Потенциально опасные радиоактивные элементы с периодом полураспада τ свыше 10000 лет (КЭй...)

Изотоп	τ , лет	Изотоп	τ , лет
Be-10	3000000	Th-230	80000
Ca-41	100000	U-233	162000
Ni-59	80000	U-234	252000
Se-79	60000	U-236	24000000
Zr-93	1000000	Np-237	2200000
Nb-94	20000	Pu-239	24400
Tc-99	200000	Pu-242	380000
I-129	20000000	Cm-245	13000
Cs-135	2000000	Cm-247	40000000
Pb-210	2600000		

По активности РАО делят на низко-, средне- и высокоактивные (табл. 8.2 и 8.3).

Таблица 8.2

Характеристика твердых РАО различной степени активности (Кривохатский)

Тип отходов	Активность, Ки/кг		Доза γ -излучения, Р/ч*
	α -излучатели	β -излучатели	
Низкоактивные	$2 \cdot 10^{-7} - 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-6} - 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-4}$
Среднеактивные	$10^{-5} - 10^{-2}$	$10^{-4} - 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-4} - 10^{-2}$
Высокоактивные	$> 10^{-2}$	$> 10^{-1}$	$> 10^{-2}$

Примечание*. На расстоянии 0,1 м от поверхности.

Таблица 8.3

Характеристика пылегазообразных и жидких РАО
различной степени активности (Охрана окружающей...)

Тип отходов	Удельная активность, Бк/м ³	
	Пылегазообразные	Жидкие
Низкоактивные	$\leq 3,7$	$\leq 3,7 \cdot 10^8$
Среднеактивные	$3,7-3,7 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^8-3,7 \cdot 10^{13}$
Высокоактивные	$\geq 3,7 \cdot 10^4$	$\geq 3,7 \cdot 10^{13}$

По агрегатному состоянию РАО классифицируют на твердые, жидкие и газообразные.

Газообразные РАО редки. К ним прежде всего относятся радионуклиды криптона и ксенона, образующиеся при делении ядерного топлива, а также газы, содержащие радиоактивные изотопы водорода Н-3 и углерода С-14, а также радон.

Жидкие РАО, напротив, наиболее распространены. Они возникают на радиохимических предприятиях, АЭС, в исследовательских центрах и т.п. За счет энергии радиоактивного распада ЖРО могут нагреваться. При этом развиваются различные химические реакции (радиолиз), в которых выделяются так называемые радиолизные газы. Для их улавливания ЖРО, особенно высокой активности, необходимо охлаждать.

Твердые РАО включают:

отвержденные и остеклованные жидкие отходы средней активности от АЭС и радиохимических предприятий, содержащие в основном Sr-90, Cs-137, Co-60;

отвержденные газообразные отходы, включающие Н-3 и Kr-85;

высокоактивные отходы с трансурановыми элементами от регенерации топлива АЭС, которые могут также содержать редкоземельные элементы. Основные радионуклиды здесь — Am-241; Pu-238, -239, -240, -241; Np-237; Cm-243, 244;

корпуса выработавших ресурсы реакторов, ускорителей, разные виды оборудования и снятые с вооружения ядерные боеприпасы, другие негабаритные изделия с высокой и средней наведенной активностью. Это наиболее масштабные твердые отходы, поскольку, например, только бетонные обломки зданий реакторов и другие строительные материалы составляют до 30% общего объема РАО;

отработавшие ресурс радиоактивные источники на основе изотопов в блоках из различных веществ: Sr-90 (титанат), Cs-137 (боросиликатное стекло), Co-60 (металл), Po-210 (бериллий).

8.2. Масштабы и проблемы радиоактивного загрязнения

Масштабы и проблемы радиоактивного загрязнения определяются наличием уранодобывающих и перерабатывающих предприятий, объектов ядерного военно-промышленного комплекса, включая полигоны испытаний ядерного оружия, энергетикой, системой пунктов хранения и захоронения РАО, исследовательскими реакторами, ядерным оружием, техногенными катастрофами.

Наличие данных объектов привело к тому, что в СНГ радиационно неблагополучно более 10% территории (свыше 2 млн км²). В Белоруссии поражено 80, на Украине — 30 и в Казахстане — 40% их площадей. В России в 1991 г. насчитывалось около 1 млн км² радиационно дестабилизированных территорий с населением до 10 млн человек, в том числе 6 млн непосредственно пострадавших от радиации.

Особенно перегружен радиационно опасными объектами бассейн Оби и Енисея. Здесь находятся Семипалатинский ядерный полигон, заводы по производству ядерного топлива и оружейного плутония (бывшие Челябинск-65, -70; Златоуст-36; Свердловск-44, -45; Томск-7), Красноярский ядерный и Норильский атомный комплексы, другие объекты.

Суммарная активность РАО на территории России в настоящее время составляет, по различным оценкам, от 5,4 до 6 млрд Ки, что эквивалентно пятидесяти Чернобылям (Довгуша... 1997. № 2). Их объем равен 600 млн м³. На долю ВАО приходится только 420 тыс. м³, но их суммарная активность достигает 5,3 млрд Ки, или до 98% общей для всех РАО. Объем ВАО, подлежащих захоронению в 2005-2010 гг., оценивается в 1 млн м³. Характерная особенность ВАО — их чрезвычайно высокий индекс токсичности (коэффициент разбавления до безопасных концентраций). После 100 лет хранения отходов он равен 50 км³ на 1 т ВАО или ОЯТ, что эквивалентно ПДК, равной $2 \cdot 10^{-5}$ мг/л. Большая часть ВАО (4 млрд Ки) имеет уровень токсичности, превышающий аналогичный показатель сильнейших химических водных загрязнителей, например фенолов (ПДК равно 10^{-3} мг/л), более чем в 200 раз. При этом она заключена в незахороненных материалах, временно находящихся в специальных емкостях, открытых бассейнах, водоемах и т.п.

Одним из основных источников радиоактивности являются объекты атомной энергетики. В мире эти источники только по линии АЭС включают более 530 действующих, свыше 85 остановленных и 100 строящихся блоков, 20 огромных остановленных, функционирующих или строящихся радиохимических комбинатов.

Отходы АЭС России содержат 1,7 млрд Ки и находятся в 227 хранилищах, из которых 81 законсервировано и 146 эксплуатируются.

На девяти действующих АЭС России имеется около 100 тыс. м³ жидких и 110 тыс. м³ твердых РАО. При выработке 1 ГВт электроэнергии образуется 300-500 м³ твердых отходов и 25 т облученного топлива. При их обработке появляется соответственно 10, 40 и 130 м³ высоко-, средне- и низкоактивных отходов. При переработке 1 т исходных твердых РАО возникает минимум 4,5 т ВАО, 150 т жидких среднеактивных и более 2000 т низкоактивных отходов (Яблоков). К двухтысячному году на АЭС ожидалось накопление 41600 т ВАО (Answer to...).

Из изложенного следует, что выбросы в атмосферу и загрязнение водного бассейна при работе АЭС являются, как правило, вторичными.

В выбросах АЭС преобладают инертные радиоактивные газы — изотопы ксенона, криптона, аргона. Для уменьшения активности осуществляется временная задержка этих газов перед выпуском в атмосферу, достаточная для распада короткоживущих радионуклидов. В окружающую среду поступают также С-14, Sr-90, Ru-106, I-131, Cs-134, -137, Се-144, активированные продукты коррозии. Однако в целом радиоактивное загрязнение от АЭС гораздо меньше его естественного уровня. Последнее, как правило, в 10⁻⁵-10⁻⁶ раз ниже допустимого НРБ-99.

Наличие на АЭС поверхностных водоемов-хранилищ ЖРО приводит к проникновению радиоактивных веществ в грунтовые и подземные воды. Однако доля их сброса в окружающую среду, как и выбросов, значительно ниже допустимого уровня. По различным объектам она изменяется от 10⁻⁵% (Ленинградская АЭС) до 39,5% (Калининская АЭС) последнего.

Совокупность воздействия всех видов отходов АЭС приводит к существенному загрязнению почвы. Так, в радиусе до 40 км от станций загрязнение территорий составляет 0,32-600 Ки/км² по Cs-134, -137 и 0,2-440 Ки/м² по Sr-90. Оно сочетается с ЭМИ, которое в диапазоне промышленных частот (50 Гц) по электрической компоненте достигает 0,1-25 кВ/м, по магнитной — 60-2500 мкТл.

В дальнейшем проблема отходов атомных реакторов станет еще более острой. По данным МАГАТЭ, к 2000 г. более 65 ядерных реакторов АЭС и 260 используемых в научных целях ядерных устройств должны были превысить 30-летний срок службы и быть остановленными. Однако вывод АЭС из числа действующих — чрезвычайно сложная и дорогостоящая проблема, решенная пока для считанного числа объектов (разд. 8.5).

Не менее опасны для окружающей среды другие предприятия атомно-энергетического комплекса.

Производственное объединение «Маяк» Челябинской области с конца 40-х годов 20 в. выпускает ядерные устройства. Его высоко- и среднеактивные ЖРО в 1949-1956 гг. напрямую спускали в р. Теча, приток Оби. Их общая активность составила 76 млн Ки. С 1951 г. эти отходы сбрасывают также в оз. Карачай, самое грязное место в мире. Уровень радиации в нем достиг 120 МКи. Часть радиоактивности попала в другие водоемы и почву — уже загрязнено более 3 млн га земель. Загрязнена и атмосфера. Например, выпадения из нее в течение 1994 г. цезия-137 превышали средние по стране в 50-100 раз. Сфера влияния ПО «Маяк» стала зоной экологического бедствия, где в 2 раза возросли онкологические заболевания, на 2/3 выше детские лейкозы.

Более благополучна обстановка в районе НПО «Радон» Московской области, производящего сбор, транспортирование, переработку и захоронение средне- и низкоактивных РАО. За два с лишним десятилетия здесь захоронено около 90 тыс. м³ ЖРО. Вокруг предприятия созданы СЗЗ (2,5 км) и зона наблюдения. В последней имеется 25 пунктов постоянного и 150 пунктов периодического контроля, отслеживающих радиационный фон местности.

В целом на атомных предприятиях России в настоящее время ежегодно образуется не менее 7 млн м³ ЖРО низкой и средней активности, содержащих более 2 млн Ки. Общее их накопление оценивается более чем в 400 млн м³, или, по различным оценкам, в 0,2-1,3 млрд Ки.

Очистка территорий от радиоактивности весьма трудоемка и дорогостояща. Так, для реабилитации площадок закрытых оружейных заводов Министерства энергетики США потребуется до 75 лет и 230-250 млрд дол. (Clean up...).

Весьма актуальными становятся проблемы мирового значения, связанные с исчерпанием срока службы и прекращением эксплуатации созданных в 60-70-х годах ЯЭУ транспорта (подводных лодок, ледоколов, крейсеров, авианосцев).

Только АПЛ в мире к концу 20 в. было построено 475 единиц, в том числе 245 российских, 187 американских, 25 английских, 12 французских и 6 китайских. В начале 21 в. в России, США, Великобритании необходимо было вывести из эксплуатации более 280 АПЛ, в том числе нашей стране — 191. Утилизированы, и лишь частично, только 72 АПЛ, в 95 из 119 неутрализованных лодок не выгружено ОЯТ. Сроки отстоя на плаву списанных АПЛ превысили 20, а некоторых — 35 лет (Тихонов...). По состоянию на 2005 г. в российском МВФ осталось всего 12 АПЛ, однако на него приходится почти 1/3 ядерного потенциала сдерживания страны (Известия, 2005. — №105).

Утилизация АПЛ предусматривает строгие меры радиационно-экологической безопасности: длительную (15-20 лет) стоянку на плаву списанных субмарин; выгрузку и транспортирование на переработку большого количества отработанных тепловыделяющих сборок; безопасное хранение и переработку значительных объемов ЖРО; длительное (не менее 70-100 лет) хранение вырезанных РО, при котором мощность источников γ -излучения уменьшится в среднем в тысячу раз; разделку корпусов АПЛ.

Столь длительные сроки утилизации АПЛ обусловлены тем, что на всех стадиях обращения с ними радиационные потоки чрезвычайно велики. Так, при ремонте АПЛ мощность излучения в кессоне реактора достигает 400, вблизи корпуса реактора — 20-40, в кессоне парогенератора — 2 мЗв/ч. Уровень радиоактивного загрязнения поверхности внутриреакторных конструкций может составлять 2 млн Бк/см², внутренней поверхности элементов оборудования первого и третьего контуров — 100 тыс. и 20 тыс. Бк/см² соответственно. Во внутриреакторных конструкциях сосредоточено свыше 90% долгоживущих радионуклидов, но они составляют не более 5-7% от общей массы радиоактивных материалов.

Эксплуатация, утилизация АПЛ и других судов атомного флота сопровождается образованием значительных количеств жидких и твердых отходов.

Объемы ЖРО (без учета поступающих из санпропускников и спецпрачечных) колеблются в пределах 5-14 тыс. м³/год. Примерно 30% из них составляют среднеактивные и около 70% — слабоактивные отходы. Последние образуются в технологических операциях (отмывка контура, дезактивация съемного и несъемного оборудования, отбор проб и проведение радиохимических анализов, перегрузка ионообменных фильтров и т.д.). Среднеактивные ЖРО появляются, как правило, только в аварийных ситуациях, но их суммарная активность достигает 95% общей активности жидких РАО (высокоактивные на кораблях ВМФ практически не возникают).

Ежегодное поступление твердых и отвержденных РАО составляет около 9 тыс. м³, в том числе ВАО — 41,1, САО — 52,2 и НАО — 6,7%.

После выгрузки жидких и твердых РАО в объеме реакторного отсека сохраняются два вида излучения: объемный (активированный материал элементов оборудования ЯЭУ) и поверхностный, обычно обусловленный продуктами коррозии оборудования и конструкций (в основном Со-60) или радиоактивными продуктами деления Cs-137, -139; Се-144; Ru-106; Sr-90.

Интегральная активность всех объемных и поверхностных источников излучения при времени выдержки 1-3 года достигает $(1-2) \cdot 10^{15}$ Бк.

Утилизация выработавших ресурс единиц атомного флота сдерживается чрезвычайной дороговизной работ. Обеспечение безопасной разделки атомных субмарин, захоронение их ядерных реакторов и РАО требует больше средств, чем создание АПЛ. В частности, для утилизации одной АПЛ в 1992 г. требовалось 9 млрд, а в 1995 г. — 40 млрд р. в ценах соответствующих лет. Только дезактивация снятого с единичной АПЛ оборудования сопровождается образованием ~ 1000 м³ ЖРО и 40 т ТРО. При полной ее утилизации ожидается 350-1000 т твердых РАО. Принятое Правительством СССР еще в 1985 г. решение о создании к 1993 г. хранилищ для реакторных отсеков АПЛ не выполнено, поэтому сегодня на базах ВМФ радиоактивные материалы накапливаются на открытых площадках.

Наиболее опасной угрозой окружающей среде и человечеству являются огромные запасы ядерного оружия. К середине 80-х годов 20 в. в пересчете на тротильный эквивалент они составляли 11,3 млрд т, т.е. ~ 2 т на каждого жителя Земли. Этих запасов достаточно, чтобы в случае всеобщей ядерной войны основные их обладатели (США и Россия) могли 10-20 раз гарантированно уничтожить противостоящую сторону и ее союзников. Наземный взрыв водородной бомбы с тротильным эквивалентом 1 млн т образует воронку глубиной 100 и диаметром 400 м. При воздушном взрыве зона сплошного огня достигает 33, пожаров — 80, ожогов третьей степени на открытой местности — 487 км². Стратегический бомбардировщик ВВС США несет 4 таких бомбы. Залп из подводного положения американской стратегической АПЛ способен полностью вывести из строя Транссибирскую магистраль и прилегающие территории на всем ее протяжении. Российские ракетные установки шахтного базирования имеют заряды с тротильным эквивалентом до 9 млн т. Стратегические мобильные ракетные системы нового поколения «Тополь-М» (Россия) с тротильным эквивалентом 0,3 Мт преодолеют любую противоракетную систему. Они непредсказуемо и непрерывно изменяют траекторию движения, но в конечном итоге точно попадают в цель.

Значительный ущерб окружающей среде нанесли испытания ядерного оружия. К моменту их запрещения в 1991 г. страны-члены так называемого ядерного клуба провели 2053 ядерных взрыва, в том числе США — 1093 с 1945 г., СССР — 715 с 1949 г., Великобритания — 22 с 1952 г., Франция — 188 с 1960 г., Китай — 35 с 1964 г. Однако в 1996 г., нарушив договоренность, Франция выполнила еще 8 ядерных взрывов. В 1998 г. в ядерный клуб вошли Индия и Пакистан, осуществив по 3 взрыва ядерных устройств. На пороге создания ядерного ору-

жия или тайного обладания им находится еще порядка 10 стран, в том числе с одиозным политическим режимом (КНДР). Таким образом, до сих пор существует угроза дальнейшего распространения ядерного оружия, что лишь усиливает нестабильность мирового сообщества.

Основным местом испытаний наиболее мощных ядерных зарядов в СССР был полигон на Новой Земле. С 1954 по 1990 г. здесь проведено 132 взрыва, из них 87 — в атмосфере, 8 — в Баренцевом и Карском морях, остальные — под землей. Суммарное энерговыделение от них превысило 273 Мт тротила, что составляет 94% мощности всех ядерных взрывов, произведенных в СССР. На Новой Земле выполнены самые мощные в мире взрывы в 58 Мт (1961 г.) и в 30 Мт (1962 г.). Несколько мощных (20-25 Мт) бомб взорвано в прибрежной зоне к западу и востоку от пролива Маточкин Шар. Плотность испытаний ядерного оружия в 1958, 1961 и 1962 гг. иногда достигала 7-8 ежемесячно. Суммарная активность радиации, сопровождавшей ядерные испытания, составила $5,2 \cdot 10^{17}$ Бк по Sr-90. По данным Госкомгидромета, максимальная плотность радиоактивных выпадений в 1962 г. в 11 тыс. раз превышала современные фоновые значения.

Подобной колоссальной нагрузке не знал ни один из атомных полигонов мира. Так, суммарная мощность 467 взрывов (124 — в атмосфере), произведенных на Семипалатинском полигоне в Казахстане, равна 16 Мт (4,5%). На 115 мирных взрывов в различных районах страны, оставивших в недрах 100 млн Кц, приходится тротильный эквивалент всего лишь в 1,5 Мт (Довгуша... 1997. № 2).

В последние годы привлекли внимание возможные последствия применения боеприпасов, содержащих обедненный уран-236 (обедненная урановая руда). Он используется как утяжелитель в артиллерийских снарядах, что усиливает их пробивную мощь. В 1990-х годах этот тип вооружения использовался в период Косовского кризиса войсками НАТО на территории южной Сербии против Югославии. Полученная информация свидетельствует, что обедненный уран имеет на 60% меньшую радиоактивность в сравнении с природным и не представляет собой серьезной опасности при внешнем воздействии. Уровень радиационного излучения на территории, подвергшейся обстрелу содержащими его боеприпасами, лишь незначительно выше, чем на участках, где обедненный уран не применялся, т.е. не представляет серьезной опасности при внешнем воздействии. Попадание его в пищевые продукты и воду в местах применения боеприпасов мало влияет на их токсичность. Однако примеси этого утяжелителя при попадании внутрь человеческого организма вместе с пылью могут привести к нарушению функций дыхательных и других органов (Bleise...; Actinide...).

Следует отметить, что деятельность ВПК, ядерные испытания, неустанный наращивание военного потенциала сверх всяких разумных пределов не только создали угрозу экологической безопасности страны, но и обескровили ее экономику. Бывший СССР по ряду позиций не только добился стратегического паритета с США, но и произвел оружия больше, чем остальные страны, вместе взятые: по уже упоминавшимся АПЛ 245 единиц против 230, по химическому оружию 40 тыс. т против 30 тыс. т, по танкам 80 тыс. против 60 тыс. и т.д. Выполнение этих задач требовало отвлечения, по некоторым оценкам, до 30% ВВП (США — не более 6%), 60-70% металлообрабатывающего оборудования, 40% электроэнергии, более 30% автотранспорта, 50% металлов, моторного топлива и масел, 85-90% ученых негуманитарных специальностей и инженеров. К сожалению, в плане структурной перестройки народного хозяйства с ориентацией его прежде всего на удовлетворение десятилетиями откладывающегося потребительского спроса населения и в постсоветской России ничего существенного пока не сделано.

Чрезвычайно опасные долговременные последствия может иметь радиоактивное загрязнение морей и океанов. Его основные источники: испытания ядерного оружия, до 1963 г. проводившиеся в атмосфере; РАО, непосредственно сбрасывавшиеся в море; крупномасштабные аварии судов с атомными реакторами; техногенные катастрофы типа Чернобыльской; захоронение РАО на дне и др.

В СССР, затем в России наибольшее количество радиоактивных веществ погружено в воды северных морей и северной части Тихого океана.

Захоронение в северных морях началось в 1964 г. с твердых отходов. Их объемы в конце 70-х и в 80-е годы 20 в. составляли 6-7 тыс. м³ ежегодно. Из них 70% приходилось на долю Северного флота. В открытых районах Баренцева и в мелководных заливах Карского моря у Новой Земли (преимущественно в границах полигона) сброшено 13 реакторов аварийных АПЛ (6 из них — с невыгруженным ядерным топливом) и 3 реактора и экранная сборка с частично невыгруженным топливом ледокола «Ленин». Там же затоплено почти 17 тыс. контейнеров с РАО (Будьков).

В общей сложности активность РАО, затопленных в арктических морях России, составляет 2/3 от захороненной в Мировом океане.

Эти, а также, вероятно, другие источники поступления радионуклидов привели к загрязнению акваторий арктических морей. Так, в западной части Баренцева моря зафиксированы максимальные концентрации цезия-137. Они в 6 раз превышали его средние уровни в водах Северной Атлантики. За весь 20-летний период наблюдений

(1963-1982 гг.) содержание другого загрязнения (Sr-90) в Белом и Баренцевом морях уменьшилось всего в 3-5 раз.

На Дальнем Востоке Тихоокеанский флот России сбрасывал РАО в Тихий океан в районе Камчатки, в Японское и Охотское моря. За 35 лет на глубине 1900-3300 м затоплено 6846 контейнеров, 38 судов и 100 других крупных загрязнений с суммарной активностью 19265 Ки (Danilian...). Следует выделить два реактора без топлива, затопленные в Японском море, и реакторную сборку, сброшенную у Камчатки. В настоящее время на ТОФ скопилось еще 16 тыс. м³ ЖРО, находящихся в переполненных временных хранилищах, в том числе на полузатопленных списанных судах.

Загрязнение цезием-137 и стронцием-90 наблюдается также в Черном море (разд. 1.8.4).

До 42% общего объема ТРО, затопленного в 1964-1992 гг. в своих морях Россией (свыше 22400 м³ с суммарной активностью более 5600 Ки), приходится на долю 60 судов атомно-технологического обслуживания (Довгуша..., 2001, 2003).

В целом с конца 50-х по 1992 г. СССР с явным нарушением требований МАГАТЭ затопил РАО суммарной активностью 2,5 млн Ки.

Значительный вклад в загрязнение морей и океанов внесли и другие страны. В 1971-1983 гг. отходы военной и атомной промышленности регулярно топили Бельгия, Великобритания, Нидерланды, Франция и Швейцария, эпизодически — Япония, Новая Зеландия, Италия, ФРГ, Швеция, Ю.Корея. Особенно значителен вклад Великобритании, которая сбросила 76,6% всех захоронений РАО (без учета СССР). По данным МАГАТЭ, с 1949 по 1982 г. в 15 местах Северной Атлантики, Ла-Манша, Бискайского залива и Канарских островов она провела 34 захоронения ТРО с общей активностью 949 тыс. Ки. Кроме того, предприятия ее атомной промышленности широко практиковали сброс ЖРО в Ирландское море. В целом английские и французские атомные заводы загрязнили радиоактивными элементами практически всю Северную Атлантику, особенно Северное, Норвежское, Гренландское, Баренцево и Белое моря. Только за 1967-1982 гг. в Атлантике оказалось более 188 тыс. контейнеров массой почти 95 тыс. брутто-тонн, содержавших 1 млн 222 тыс. Ки.

Вклад США в загрязнение Мирового океана равен 87 тыс. контейнеров, затопленных в 1946-1970 гг. в Мексиканском заливе (общая активность 96673 Ки).

На дне океанов в настоящее время находится 7 атомных подводных лодок, в том числе 6 — СССР и России, 9 атомных реакторов, 7 самолетов с ядерными устройствами на борту, более 50 ядерных боепри-

пасов, сотни тысяч контейнеров с РАО, десятки реакторов АПЛ, в том числе с невыгруженным ядерным топливом. К этому следует добавить сотни тонн не растворяемого в морской воде плутония, который попал в Мировой океан в ходе ядерных испытаний 60-х годов 20 в.

Уже достигнутые масштабы загрязнения привели к тому, что на пороге третьего тысячелетия рождается новое отношение к Мировому океану. Конференция в Рио-де-Жанейро в 1992 г. запретила сброс РАО в море. В 1972 г. Лондонская конвенция призвала к постоянному мораторию на их дампинг в моря (ратифицирована СССР в 1975 г.).

Экономическое положение нашей страны таково, что для строительства новых хранилищ недостает средств, а имеющиеся хранилища ядерных отходов переполнены. Постоянно решается дилемма: либо строить новые хранилища, либо продолжить сливы и сбрасывание РАО в моря. Уже после 1992 г. такие сливы велись в Японское море. Полагали, что Россия ввиду тяжелого экономического положения минимум до 2000 г. будет вынуждена затоплять в море РАО всех видов (Довгуша... 1996).

Проблемы, связанные с ядерной безопасностью, будут только нарастать, если социально-экономическая ситуация страны кардинально не изменится к лучшему. Еще в 1993 г. один из координаторов Гринпис, в официальном порядке посетивший ядерные объекты ВМФ России, в докладе президенту США Б.Клинтону сделал вывод: «Правительство и ВМФ России самостоятельно не в состоянии справиться с надвигающейся на нее экологической угрозой. Без своевременного вмешательства извне возникает риск ряда серьезных региональных экологических катастроф, которые будут иметь последствия для жителей прибрежных районов и богатых рыбных запасов в водах Северного Ледовитого океана и Северной части Тихого». В 1994 г. аналогичное мнение изложено в докладе правительству России комиссии советника Президента по экологии и здравоохранению А.Яблокова: «Очевидно, что сейчас сложилась критическая ситуация, исключающая дальнейшую эксплуатацию атомного подводного флота» (Довгуша... 1997. № 2).

Беспорядочное загрязнение Мирового океана РАО, имевшее место до принятия Лондонской конвенции, может вызвать необратимые процессы гибели флоры и фауны. Наиболее опасны радионуклиды цезия-137, стронция-90, церия-144, иттрия-91, ниобия-95. Они легко биоаккумулируются, переходят по пищевым цепям, концентрируются в морских организмах высших трофических уровней, создавая опасность для гидробионтов и человека.

Наши знания о Мировом океане, значительно расширившиеся в последние десятилетия, подводят к мысли, что реальные опасности от глубоководных захоронений РАО более существенны, чем представля-

лось ранее. Так, опровергнуты представления о покое глубин Океана, в которых, как оказалось, нередки крупномасштабные вихревые явления, глубоководные течения, внутренние волны, бентические (донные) штормы, гидротермальные проявления с температурой порядка 300°C и высоким содержанием сероводорода. Эти и другие факторы могут быть одной из причин быстрого (за 10-30 лет) разрушения контейнеров, корпусов затонувших судов, реакторных отсеков и т.п. Возможно, что сама стратегия (даже регламентированная) захоронения РАО в море была глубоко ошибочной.

Весьма опасным и заранее непредсказуемым источником радиоактивного загрязнения окружающей среды являются аварии и катастрофы на ядерных объектах. Горькую славу лидера этого направления заслужил бывший СССР.

Крупнейшая авария произошла в 1957 г. на упоминавшемся выше ПО «Маяк». При тепловом взрыве одной из емкостей для хранения высокоактивных ЖРО было выброшено около 20 МКи, из которых ~10% рассеялось на площади 1000 км^2 , загрязнив ее стронцием-90, цезием-137, церием-141, рутением-106, актинидами и другими элементами. Около 2 млн Ки образовали облако, которое прошло над Челябинской, Свердловской и Тюменской областями, оставив после себя так называемый восточно-уральский след (ВУРС). Он охватил территорию ~30 тыс. км^2 с количеством облученных порядка 500 тыс. человек.

Навсегда вошла в анналы истории авария 1986 г. на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС. По своим последствиям она стала крупнейшей экологической катастрофой человеческой цивилизации. Суммарный выброс радиоактивных продуктов в атмосферу достиг 77 кг, что более чем в 100 раз превышает выброс атомного взрыва над Хиросимой. В его состав вошло около 30 радионуклидов с периодом полураспада от 11 ч (криптон-85) до 24390 лет (Pu-239). Их суммарная радиоактивность в 1986 г. оценивалась в $5 \cdot 10^{18}$ Бк, что в 10 раз больше полученной на пике испытаний ядерного оружия в 1954-1962 гг.

Общая площадь радиоактивного загрязнения при Чернобыльской катастрофе превысила 130 тыс. км^2 . На ней было расположено 7000 городов и поселков с населением 4,2 млн человек. Большая часть выбросов отмечалась в радиусе 300-400 км от станции, 70% их попало на территорию Белоруссии. Масштабы загрязнения земель России цезием-137 (изотопом со смешанным бета- и гамма-излучением и периодом полураспада 30 лет) по состоянию на начало 1995 г. представлены в табл. 8.4. Российская зона загрязнения затронула 14 областей (от Брянской до Ульяновской) и одну республику (Мордовия), включающих 15 городов, 138 административных районов, около 8 тыс. населенных пунктов (число жителей ~3 млн человек). Радиоактивные облака

Чернобыля накрыли также значительную часть Европы, особенно Австрию, Венгрию, Румынию, Польшу, Финляндию, Швецию, Турцию.

Следствием радиоактивного заражения стало снижение в Белоруссии нормальных родов с 54,3 до 34%, увеличение числа заболеваний раком щитовидной железы у детей с 0,42 на 100 тыс. человек в 1986 г. до 2,42 в 1992 г. (в Гомельской области — с 0,25 до 12). Возросла патология пищеварительной, мочевыделительной и эндокринной систем. В пострадавших районах России резко повысились заболевания анемией, участились сердечно-сосудистые, легочные болезни, вспышки инфекций. В зонах загрязнения с уровнем более 40 Ки/км² у взрослых и детей стали проявляться симптомы «чернобыльской болезни», вызванные наличием йода-131: головная боль, сухость во рту, увеличение лимфоузлов с последующим раком гортани и щитовидной железы.

Таблица 8.4

Площади РФ, загрязненные цезием-137 вследствие Чернобыльской катастрофы (Довгуша... 1997. № 2)

Объект	Интенсивность загрязнения, Ки/км ²				
	1-5	5-15	15-40	> 40	всего
Общая территория, км ²	49760	5450	2130	310	57650
Сельхозугодья, тыс. га	1576	367	99	17	2059
Земли лесного фонда, тыс. га	871,2	85,6	42,0	2,5	1001,3

Экономические потери от Чернобыльской катастрофы огромны. Они включают долгосрочное изъятие из хозяйственного оборота 144 тыс. га сельхозугодий, 492 тыс. га лесов, затраты на отселение жителей. По некоторым оценкам, ущерб составляет около 300 млрд р. (цены 1984 г.), или ~180 млрд долл США, что сопоставимо со всей прибылью от АЭС за время их эксплуатации в нашей стране (Довгуша... 1997. № 2).

Чернобыль еще не сказал последнего слова. Под дырявым саркофагом, сквозь щели которого уже может пролететь птица, находится около 200 т ядерного горючего и 3000 м³ радиоактивной воды. Проникновение этой потрясающей смеси в грунтовые воды, неконтролируемый разогрев и возможный взрыв активных компонентов топлива могут в конечном итоге привести уже к глобальным социально-экологическим последствиям. Полное осознание человечеством этого факта еще не наступило.

Известны и другие ядерные инциденты в нашей стране: аварии на Сибирском химическом комбинате (1993 г.) и АПЛ: К-219, К-159, «Комсомолец», «Курск» (Тихонов..., 2005 г.).

Однако ядерные катаклизмы — не только наше «достижение». Потерпели катастрофу и затонули АПЛ «Трешер» и «Скорпион» ВМФ США. Имели место аварии на АЭС и нефтеперерабатывающих заводах: «Три Майл Айленд» (Гаррисберг, США, 1979 г.), Уиндскейл (Великобритания, 1957 г.), Токай-Мура (Япония, 1997 г.). Из аварий самолетов США с ядерным оружием на борту с наиболее ужасающими последствиями могли стать катастрофы над Паламоресом (Испания) и Туле (Гренландия). Так, во время патрульного полета над Южным побережьем Испании в 1966 г. стратегический бомбардировщик В-52 с четырьмя водородными бомбами столкнулся при дозаправке горючим с самолетом-заправщиком. Оба самолета разбились. Три бомбы упали у деревни Паламорес, две из них разрушились из-за взрыва обычных детонаторов. Одна бомба упала в Средиземное море, откуда с глубины 870 м была поднята после 80 сут. поисковых работ.

Суммируя изложенное относительно масштабов и проблем радиоактивного загрязнения в России, укажем, что, по данным государственного доклада «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2003 г.», наибольший вклад в облучение населения вносят природные (69%) и медицинские (30%) источники ионизирующего облучения. На долю других источников, в том числе прошлых радиационных аварий, в целом приходится менее 1%. В частности, уровень коллективной дозы при добыче и переработке урана, нормальной эксплуатации АЭС мощностью 12 ГВт составляет менее 0,01% от естественного радиационного фона (Крышев...).

8.3. Обращение с РАО

Порядок обращения с отходами изложен в НРБ-99. Они регламентируют сбор, удаление, обезвреживание и хранение твердых и жидких РАО, а также очистку от радионуклидов вентиляционных и технологических выбросов в атмосферу. Принятые на основе разработок 40-50-х годов 20 в., эти правила не являются оптимальными и экологически безопасными с позиций нашего времени. Однако они позволили в кратчайшие сроки решить задачи обеспечения ядерного паритета и развития ядерной энергетики.

Существующая схема обращения с РАО включает несколько стадий: улавливание — технологическая обработка (концентрирование, упаковка) — хранение — захоронение. В зависимости от ряда факторов, прежде всего агрегатного состояния и активности отходов, эта схема может видоизменяться, усиливая, снижая или даже полностью исключая ту или иную стадию.

8.3.1. Сбор и удаление

низко- и среднеактивных отходов

В настоящее время относительно надежно решены вопросы, связанные с пыле-газовыми выбросами.

Низкоактивные, обычно вентиляционные, выбросы удаляют через трубу и рассеивают. Ее высота и условия выбросов должны гарантировать соблюдение $ДКБ$ — допустимой объемной концентрации радионуклидов в атмосфере и воде, безопасной для населения категории Б. Последнее по условиям проживания или размещения рабочих мест может подвергаться воздействию радиоактивных веществ и других источников излучения, применяемых в учреждениях и/или удаляемых во внешнюю среду. Значение $ДКБ$ рассчитывают как отношение ППП радиоактивного вещества к объему воды (800 л) или воздуха (7,3 млн л), с которыми оно поступает в организм человека в течение года. Величина ППП представляет собой *предел годового поступления* радионуклидов через органы дыхания и пищеварения.

При наличии смеси радионуклидов неизвестного состава значения ППП через органы дыхания и $ДКБ$ в атмосфере составляют соответственно 3,7 Бк/год и $3,7 \cdot 10^{-7}$ Бк/л. Величина ППП через органы пищеварения и $ДКБ$ в воде для этого же случая равны $1,1 \cdot 10^3$ Бк/год и 1,11 Бк/л (*Охрана окружающей...*).

Для установленных веществ допускают $ДКБ$ существенно более высокие. Для радиоактивных инертных газов в воздухе они изменяются от 1,1 (Кг-89) до 96,2 Бк/л (Кг-85). Значения $ДКБ$ известных жидких и твердых нуклидов в атмосфере варьируют от 11,1 у трития до $8,14 \cdot 10^{-5}$ Бк/л для урана-238. В воде $ДКБ$ конденсированных веществ находятся в пределах от $1,48 \cdot 10^5$ (третий) до 1,48 Бк/л (Sr-89).

Вентиляционный воздух, выбрасываемый в окружающую среду без очистки, должен также иметь объемные активности на выходе, не превышающие допустимых для воздуха рабочих помещений. При этом суммарный выброс необходимо иметь ниже предела дозы, установленной НРБ-99 (разд. 6.3).

В варианте очистки выбросов от радиоактивных аэрозолей используют пылеуловители всех типов (глава 3). Для высокодисперсных частиц широко применяют фильтры различных конструкций с фильтроэлементом из материала ФПП (разд. 3.2.4.3). С уловленной пылью, в зависимости от уровня ее радиоактивности, поступают как с твердыми низко-, средне- или высокоактивными отходами.

Для очистки вентиляционных выбросов и технологических сдувок от радиоактивных инертных газов (изотопы криптона, ксенона, аргон-41) применяют газгольдеры и адсорбционные колонны. Газгольдеры представляют собой устройство для приема, хранения и выдачи газа. В них короткоживущие радионуклиды с периодом полураспада ~1-3 ч находятся столько, сколько необходимо для снижения их активности до приемлемого уровня. Обычная степень очистки в газгольдерах составляет 80-90%. Адсорбционные колонны используют, если требуется высокая (более 99%) степень удаления радиоактивных инертных газов из выбросов. В этом случае основная схема очистки включает охлаждение газа с сепарацией влаги, глубокую его осушку в колоннах с цеолитом и последующую подачу в адсорбер с углем для поглощения загрязняющих примесей.

Жидкие слабо- и среднеактивные отходы перед сбросом в окружающую среду во всех случаях подвергают очистке. Для этого используют методы упаривания, двухступенчатый ионный обмен с предварительной очисткой от механических примесей, органических веществ и обработкой регенерационных растворов; электролиз, селективные мембранные сорбенты, ультрафильтрацию, мембранную дистилляцию, химические методы и др.

В качестве примера приведем краткие данные по обезвреживанию ЖРО на Московской станции переработки. На ней очистку сточных промышленных вод от РАО после предварительного кондиционирования осуществляют методами коагуляции и фильтрации с последующей двухступенчатой ионообменной очисткой. Очищенные стоки упаривают и вывозят на захоронение. Они имеют объемную активность 10^6 Бк/л, в том числе α -активность — 10^3 - 10^4 Бк/л. Их объем по отношению к объему очищаемых РАО сокращается до 500 раз, составляя 0,2-2,2%. Добавим, что система очистных сооружений должна предусматривать не только дезактивацию сточных вод, но и возможность их применения в технологических целях.

Более упрощенные схемы очистки сбросных вод реализуются на установках для облучения резины, нефтепродуктов, фторопластов, древесины и т.п., где в качестве облучателей применяют Со-60, который до использования хранят в воде. Ее осветление от микровзвесей проводят на скорых механических фильтрах с целлюлозно-тканевой насадкой, а дезактивацию воды осуществляют на ионообменных фильтрах из синтетической смолы (сильнокислотной или слабоосновной).

Иногда возможен сброс радиоактивных сточных вод в хозяйственно-бытовую канализацию. В этом случае концентрация радионуклидов в них не должна превышать ДКБ более чем в 10 раз. В коллекторе данного предприятия необходимо обеспечить десятикратное разбавле-

ние радиоактивных сточных вод нерадиоактивными, а суммарный сброс радионуклидов следует ограничить величиной, не превышающей установленных ДКБ. Допустимые сбросы ЖРО в поверхностные водоемы согласуются с органами Госсаннадзора.

При невозможности разбавления, а также при малых (менее 200 л/сут) количествах ЖРО они должны собираться в специальные емкости с последующим удалением на пункты захоронения радиоактивных отходов.

Запрещается удаление ЖРО в колодцы, скважины, поглощающие ямы, поля орошения и фильтрации, системы подземного орошения, а также в пруды, озера и водохранилища рыбохозяйственного назначения и водоплавающей птицы.

Сбор твердых РАО должен производиться отдельно от обычного мусора, по определенным их типам, с учетом ряда характеристик (состава, периода полураспада радионуклидов, взрывопожаробезопасности, методов переработки). Однако если удельная активность отходов меньше предусмотренной для НАО (табл. 8.2), то их удаляют с обычным мусором. Аналогично поступают с ТРО, содержащими короткоживущие нуклиды с периодом полураспада, не превышающим 15 сут. В последнем случае отходы с целью снижения активности до приемлемого уровня перед захоронением выдерживают в специальных емкостях.

Вывоз ТРО на обработку и/или захоронение также производится в контейнерах на специально оборудованных автомашинах с крытым кузовом. Мощность дозы излучения на расстоянии 1 м от емкости не должна превышать 0,1 мЗв/ч. Допустимые уровни загрязнения наружной поверхности транспортных контейнеров и его тары β -частицами составляют соответственно 2000 и 200 см⁻²·мин⁻¹. Транспортирование ЖРО осуществляется в цистернах. Автомашины и сменные сборники после каждого рейса необходимо дезактивировать.

Рост масштаба использования ядерной энергии ведет к увеличению перевозок РАО. В 1965-1990 гг. в мире они составили 30 тыс. т облученного урана, в 1950-1990 гг. — до 800 млн т упаковок. Потенциальный риск транспортирования составляет менее 0,1% от величин полного риска, обусловленного производством энергии на основе плутониевого цикла.

8.3.2. Технологическая обработка

Радиоактивные отходы — уникальные материалы, по отношению к которым не существует методов, способных изменить их естественную

радиоактивность, т.е. самопроизвольное превращение неустойчивых атомных ядер в ядра других элементов, сопровождаемое альфа-, бета-, гамма- или протонным излучениями. Единственным способом снижения активности РАО, внутренне присущего им свойства, до безопасного уровня является более или менее длительная их выдержка, ведущая к естественному распаду содержащихся в них радионуклидов.

В свете изложенного обычные понятия, связанные с технологическими приемами обращения с нерадиоактивными отходами, такие, например, как обезвреживание и переработка, не имеют смысла по отношению к РАО. Согласно Н.Ф.Реймерсу, обезвреживание и переработка отходов — это разрушение или связывание их вредных веществ в безвредные соединения при физических, химических, физико-химических или биохимических воздействиях на них. Однако ни разрушения радиоактивных соединений, ни их связывания в безвредные вещества при всех этих способах воздействия не происходит, поскольку они не затрагивают строения ядра элементов, ответственного за их радиоактивность. Можно говорить лишь о технологиях *обработки* РАО, изменяющих ряд их свойств (агрегатное состояние, плотность, концентрацию и др.). Это делает РАО более удобными для хранения и захоронения или даже использования при естественном снижении их радиоактивности до приемлемого уровня. Обычно технологии обработки ставят задачей свести к минимуму объем собственно РАО и запечатать их в материалы, поглощающие поток радиоактивного излучения. Тем не менее в данном учебнике при рассмотрении работ других авторов сохраняется используемая в них терминология.

Начнем рассмотрение технологий обработки радиоактивных отходов с ЖРО, как имеющих наибольший объем накопления. Обычно для очистки слабо- и среднеактивных вод применяют методы, используемые для нерадиоактивных стоков. Однако в ряде случаев очистка жидких РАО от радионуклидов требует специальных решений.

Так, обработка ЖРО первой в мире АЭС (г. Обнинск) осуществляется их выпаркой и ионным обменом с коэффициентом очистки 10^8 . Затем стоки сбрасывают в р. Протва. Там после десятикратного разбавления они имеют активность $2 \cdot 10^{-11}$ Ки/л. По основному радионуклиду (Cs-137), вносящему в ЖРО 90% всей активности, это в 1000 раз меньше его ПДК для открытых водоемов. За 40 лет эксплуатации (1954-1994 г.) на установке обработано ~ 365 тыс. м³ отходов. Совершенствование технологии за последние 10 лет этого периода обеспечило сброс радионуклидов при объеме переработки около 6-7 тыс. м³/год, равный всего лишь 1 мКи/год. Очищенные стоки используют в системе оборотного водоснабжения для дезактивационных работ, промывки обо-

рудования, приготовления химических реактивов и технологических растворов (Молчанов...).

Проведены первые коммерческие испытания ионообменной очистки ЖРО цеолитами на установке по переработке облученного ядерного топлива вблизи Уэст-Велли (штат Нью-Йорк, США). Отходы (~2400 м³) в виде щелочных жидкостей и пульп хранятся в цистернах. Из них предстоит выделить плутоний, цезий и стронций. Оставшиеся низкоосновные отходы предполагается подвергнуть отверждению с последующим захоронением.

В ряде случаев экономически целесообразно использование мобильных установок по переработке ЖРО. Их изготовление начато в середине 80-х годов прошлого века на МосНПО «Радон» (установки ЭКО-1, ЭКО-2, ЭКО-3 с производительностью по очищенным радиоактивным водам 0,5-1,0 м³/ч). Для их доставки на место выполнения работ использовали автомобильный, железнодорожный или водный транспорт. В 1996-2002 гг. с их помощью были освобождены все емкости для временного хранения ЖРО на ФГУП «МП «Звездочка». Установка ЭКО-3 включала фильтрационный, ионоселективный, ионообменный, электродиализный и УФ-облучения блоки. ЭКО-3М дополнительно снабжен блоками обратноосмотической очистки, реагентного умягчения с электроосмотическим концентратором, цементации концентратов в металлических бочках.

Следующее поколение передвижных водоочистных комплексов («Аква-Экспресс») основано на модульном принципе комплектования, в зависимости от состава перерабатываемых отходов. Комплекс также использовался на «Звездочке». В 2002 г. модульные передвижные установки поставлены в ядерные центры Сирии, Ирана, Бангладеш (Переработка...).

К изложенному можно добавить, что в 2000-2001 гг. приняты в эксплуатацию плавучие заводы по переработке ЖРО: «Ландыш» в Дальневосточном регионе и на «Звездочке». Они перерабатывают НАО и САО (с удельной активностью до $3,7 \cdot 10^5$ Бк/л) и пока не имеют законченного цикла по отверждению остатка (Тихонов..., 2003).

Следует отметить, что обработка остатков ЖРО представляет весьма сложную проблему, обусловленную длительными сроками естественного распада радиоактивных элементов.

Наиболее простой является технология, в соответствии с которой ЖРО средней и низкой активности после обезвоживания до влажности 20% транспортируют на хранение в виде порошка или прессованных таблеток.

Однако обычно используют технологии отверждения, предусматривающие упаривание ЖРО с последующим их включением в трудно-

растворимые битумные, цементные, остеклованные и другие матрицы. Их, в свою очередь, часто помещают в стальные бочки или контейнеры, отправляемые на хранение. *Битуминирование* применяют к ЖРО средней и низкой активности. Высоко- и среднеактивные ЖРО отверждают в *цементных* и *бетонных* блоках. Отходы высокой активности *остекловывают*.

Битумные блоки содержат 40-50% сухих радиоактивных веществ. Они устойчивы при температурах до 350°C, возгораются при 550°C, их саморазогревание происходит при тепловыделении свыше 3 Вт/м³. При транспортировании или в начальной стадии хранения, если температура превышает 110-120°C, битумная смесь может раскисляться; она также подвержена бактериальному разложению. При общей поглощенной дозе 10⁷ Гр битум набухает и выделяет взрывоопасные газы.

Новое техническое решение проблемы ликвидации ЖРО средней и низкой активности с использованием органических отвердителей предполагает применение био- и фитосорбентов, в том числе отходов сельского хозяйства (свекловичный жом, солодовые ростки, пшеничные и ржаные отруби), деревообработки (древесные опилки), микробиологических производств (биомасса мицелиальных грибов). Однако опытные испытания данного способа пока не проведены.

Цементно-бетонные блоки, в отличие от битумных, негорючи, их радиационная стойкость выше. Наполнение блоков сухими РАО достигает 40%. Выщелачивание из них радионуклидов уменьшается добавлением жидкого стекла, вермикулита, цеолитов. Известно также использование в качестве отвердителя смеси цемента и волокнистого адсорбента (угля волокнистой структуры с размером пор 10-20 Å). Адсорбент не только дополнительно удерживает радиоактивные вещества, но и повышает прочность блоков. Содержание отходов в матрице может составлять 25-60% (Solidifying...).

Стекланные матрицы дают наибольшее сокращение объема отходов при отверждении. Так, 1 м³ ЖРО в боросиликатном стекле образует лишь 0,2-0,3 м³ твердых отходов, что в 3,7 раза меньше, чем в битумном блоке и в 10 раз — в бетонном. Скорость выщелачивания радионуклидов падает соответственно в 100 и 10000 раз. Кроме боросиликатных и фосфатных стекол, для отверждения используют другие стеклообразные соединения с высокой температурой плавления: синрок, плавный базальт, пористую керамику, керметы (керамика на основе металлов) и др. Керметы особенно эффективны, так как имеют высокую теплопроводность, большую прочность, пониженную выщелачиваемость, содержат до 70% сухих РАО, что выгодно отличает их

от обычных стеклообразных масс. Включая ЖРО в керметы, можно сократить их объем в 100 раз.

Этот способ используют для отверждения жидких и твердых отходов от переработки ОЯТ АЭС, АПЛ и других реакторов. При эксплуатации АЭС мощностью 1 ГВт в течение года образуется около 25 т ОЯТ. При остекловании этих отходов объем их сокращается до 3-4 м³ (или до 1,0-1,2 тыс. м³ в мире). Однако активность ВАО чрезвычайно велика, что до сих пор исключает использование каких-либо методов их захоронения.

Остеклование жидких ВАО реализовано на ПО «Маяк», где в 1986 г. запущена печь ЭП-500 прямого электрического нагрева. За 10 лет ее эксплуатации переработано более 10,5 тыс. м³ отходов, содержащих 254 млн Ки, получено 2030 т стекла (*Опыт эксплуатации...*).

На Чепецком механическом заводе, являющемся одним из крупнейших комбинатов России по переработке уранового, циркониевого и кальциевого сырья, с 1994 г. обезвреживают промышленные стоки с последующим их *подземным захоронением*. Обезвреживание проводят в три этапа.

Первый этап. В цехах самих производств из стоков доизвлекают нерадиоактивные и радиоактивные цветные металлы. Второй этап. Накопление и усреднение пульп в двух хвостохранилищах (уранового и циркониевого производств). Осадки накапливаются, а декантаты, которые, в соответствии с НРБ-99 и ОСПОРБ-99, относятся к РАО, поступают на переработку. Третий этап. Декантаты нейтрализуют до рН 7,5-8,5 и фильтруют (механических взвесей не более 50 мг/л). Это обеспечивает концентрацию сульфата кальция в фильтрате, подаваемом в подземные пласты через нагнетательные скважины, ниже предела его растворимости в пластовых водах, исключает быструю коагуляцию фильтрующих пород. Засоленность нагнетаемых стоков в 10-20 раз ниже, чем подземных потоков. Не увеличивается также радиоактивность последних.

Пластовое хранилище расположено на глубине 1400-1600 м, сложено трещиноватыми карбонатными породами, в основном известняками и доломитами. К 2003 г. в нем размещено около 3,5 млн м³ стоков. Результаты контроля через наблюдательные скважины показывают, что фронт распространения стоков в пласте не превышает 600 м, т.е. не выходит за границы 2000-метрового горного отвода.

Осадки хвостохранилищ относятся к твердым НАО. После заполнения хвостохранилищ осадки предполагается изолировать от окружающей среды по специальной технологии (*Обезвреживание...*).

Проблема обращения с твердыми отходами, в частности с отработанным топливом ядерных реакторов АЭС, АПЛ, атомно-ледокольного флота и др., чрезвычайно сложна. К настоящему време-

ни в мире уже накоплено около 250 тыс. т ОЯТ и ежегодно добавляется еще 10-12 тыс, в том числе ~800 т в России. Применительно к ним центральной является их регенерация.

Услуги по переработке ОЯТ оказывают всего три компании: французская SOG EМА, британская BNFL и ПО «Маяк». Рынок делят, по существу, первые две, так как «Маяк» принимает в основном ОЯТ АПЛ и топливо реакторов ВВЭР-400 ИБН. Емкость рынка превышает 200 млрд дол (Ввоз...).

Регенерация ядерного горючего включает ряд радиохимических и химико-металлургических процессов, имеющих целью извлечение невыгоревшего первичного (уран) и накопление вторичного (Pu) горючего, а также других ценных элементов (нептуний, америций) для дальнейшего использования.

Схема регенерации на одном из американских заводов выглядит следующим образом. ОЯТ из бассейна-хранилища передают на начальные участки обработки, где твэлы специальными механическими ножницами режут на куски длиной в несколько сантиметров. Затем урановую топливную матрицу переводят в раствор азотной кислоты, содержащий соли ртути, при этом оболочка из циркония в виде нерастворимого осадка переходит в отходы.

Для извлечения из раствора урана и плутония применяют трехступенчатую экстракцию. На первой из них экстрагентом служит трибутилфосфат (ТБФ). Здесь удаляется ~99% высокоактивных продуктов радиоактивного распада, в частности урана в виде $UO_2(NO_3)_2 \cdot TBF$. На двух следующих ступенях в качестве экстрагента используют гексон, разлагая соли урана и плутония до их оксидов. Степень обогащения ОЯТ по U-235 достигает 50-93%. Извлеченные делящиеся материалы могут быть повторно использованы при изготовлении твэлов, при этом UO_2 и PuO_2 разделяют химическими способами.

Высокоактивные отходы регенерации топлива АЭС в качестве основных содержат трансурановые элементы в виде радионуклидов Am-241; Pu-238, -239, -240; Np-237; Cm-243, -244. Многие из них относятся к разряду «вечных» с периодом полураспада до миллионов лет (табл. 8.1). Эти радионуклиды удаляют, что делает отходы значительно менее опасными и уменьшает их объем. Количество ВАО составляет ~25-30% от первоначального объема ОЯТ, образуются также значительные массы низко- и среднеактивных отходов. Твердые и жидкие РАО переработанного ОЯТ перед будущим захоронением в федеральном хранилище отверждают.

На заводе имеется единственная в мире установка для улавливания криптона и ксенона из газообразных отходов, выделяющихся из аппа-

ратов-растворителей. Она работает эпизодически по мере возникновения спроса на эти элементы (Батырев...).

К 1994 г. общий объем переработки ОЯТ АЭС в мире составил 47,3 тыс. т при годовой мощности заводов около 56 тыс. т.

Другой известный способ обработки ОЯТ предусматривает его окисление. Однако в окисленном состоянии оно интенсивно выделяет тепло (до 25 МВт/м³), гелий и кислород, что приводит к необходимости длительного хранения отходов перед захоронением.

Большинство стран приняло решение после выгрузки из реакторов выдерживать ОЯТ 30-50 лет в специальных наземных хранилищах. За это время активность и тепловыделение отработанного топлива снижаются в 25-30 раз по сравнению с топливом годовой выдержки. Лишь затем должно следовать окончательное захоронение. Его сроки пока не наступили для ОЯТ ни одной АЭС.

Применительно к АПЛ считают, что на ближайшее время единственно реальна концепция утилизации, предусматривающая вырезку РО без предварительной выгрузки радиоактивного оборудования ЯЭУ, герметизацию и выдержку реакторного отсека в течение 70-100 лет в защищенных от атмосферных осадков бетонированных ямах. Полагают, что после этого срока РО могут быть разрезаны без больших разовых затрат и, как правило, без специального оборудования. Так, например, за 70 лет мощность источника активационного γ -излучения уменьшается в среднем в 1000 раз.

Перспективными технологиями разделки реакторных отсеков, корпусов АПЛ, ускорителей, других видов оборудования и негабаритных изделий с высокой и средней наведенной активностью являются механическое и гидрорезание, электрохимическая, лазерная, химико-механическая (с использованием жидких взрывчатых веществ) резка. Для компактирования загрязненных радиоактивностью металлов наиболее подходит их переплавка в индукционной печи со специальной очисткой отходящих газов. Компактные слитки металлов наиболее приемлемы для хранения. Шлак плавки подлежит захоронению.

Переплав загрязненного радиоактивностью металла может быть выполнен с получением металлогранул диаметром 2-8 мм с активностью на уровне 5-10% от исходной шихты. Их используют для изготовления гранульно-бетонных контейнеров. Производство последних налажено в Германии и других странах. Они применяются для хранения и транспортировки радиоактивных и других опасных отходов (Вертман).

Для радиоактивных отходов, содержащих легко воспламеняемые металлы, например цинк, компактирование переплавом опасно. Такие отходы предлагается загружать в контейнеры и подавать в них инерт-

ные газы (азот, аргон). Закрытые контейнеры прессуют, и металл оказывается в безопасной нейтральной атмосфере (Jack...).

Наряду с крупномасштабными отходами типа ОЯТ, корпусами реакторов ЯЭУ, АПЛ и т.п. обработке подлежит ряд других типов РАО, некоторые из которых рассмотрены далее.

Для локализации отходов щелочных (Na, K, Cs) металлов с навешенной активностью, использовавшихся в качестве расплавленных теплоносителей, предложены шлакощелочные цементы (ШЩЩ) на основе гранулированных металлургических шлаков, а также керамика на базе глин, песка, цеолитов, трехкальциевого алюмината. Для упрочнения на ШЩЩ пригодны методы пропарки, автоклавной обработки, сушки. Для отверждения в керамике эффективна теплообработка при 400-1000°C. Щелочные металлы отходов, иммобилизованные вяжущими и керамикой, резко снижают скорости выщелачивания, г·м⁻²·сут⁻¹: в керамике — до 10⁻⁶-10⁻⁸; в щелочных вяжущих — до 10⁻⁵-10⁻⁶ (для сравнения, скорость выщелачивания в порландцементной матрице — 10⁻¹-10⁻³, в битумной — 10⁻⁴-10⁻⁶) (Экологически...).

Известны также положительные результаты применения ШЩЩ для локализации РАО с большим содержанием нитрата натрия, золы древесины из района Чернобыльской АЭС, илов открытых хранилищ РАО.

Несортированные радиоактивные ТБО переплавляют при 1400°C в единственной в России плазменной шахтной печи МосНПО «Радон». В шлак переходит до 98-99% радионуклидов, его объем в ~100 раз меньше, чем исходного материала. Шлак можно захоронять без дополнительной локализации радиоактивных элементов. Скорость их выщелачивания из шлака незначительна и для наиболее подвижного радионуклида (Cs-137) через 28 сут локализации не превышает 10⁻⁵ г·см⁻²·сут⁻¹, что соответствует требованиям МАГАТЭ. Удельная активность шлака по различным элементам невелика (2·10⁴-3·10⁶ Бк/кг), что позволяет отнести его к числу низкоактивных РАО (Характеристика...). Техничко-экономические показатели переплава, система и эффективность газоочистки приведены в специальной публикации (*Переработка ...*).

Для ТРО, включающих хлорсодержащие полимерные материалы и биологические объекты, МосНПО «Радон» предложило оригинальный способ сжигания с использованием экзотермической смеси и отходов, при этом верхний и нижний слои обязательно должны быть представлены этой смесью. Последнюю помещают в емкость так, чтобы между слоями и ее стенками оставался зазор, также заполняемый смесью. Поджог «пирога» осуществляют, начиная с верхнего слоя (Способ...).

Ионообменные смолы, зараженные радионуклидами, а также литий- и борсодержащие вещества предлагается смешивать с глиной и

водой, полученный материал высушивать, а затем обжигать в проходной печи при 500-1200°C. Соединения бора и лития образуют при обжиге жидкую фазу, которая при охлаждении обращается в стекловидную массу. Она связывает радионуклиды и предотвращает их вымывание при последующем хранении продукта. Последний рекомендуется заливать битумом или серой (Hollwedel...).

МосНПО «Радон» предложило способ совместного цементирования радиоактивных грунтов, содержащих органические компоненты, и ЖРО. Технология предусматривает нагревание грунта до 500-800°C, размалывание полученного продукта до удельной поверхности 1000 см²/г, смешивание его с 10% и более цемента. К полученной смеси добавляют 25-30% ЖРО и выдерживают до образования цементного камня (Соболев...).

Наряду с твердыми и жидкими иммобилизации подлежат газообразные отходы с тритием и криптоном. Тритий связывается в блоках из материала типа бетона или цеолитовых сорбентов с тритиевой водой, а также из органических полимеров. В бетонах и цеолитах он более подвижен, однако при отсутствии грунтовых вод эти блоки можно хранить необходимое время. Криптон-85 связывают в трех вариантах: в псевдотвердой форме под давлением 200 атм в коррозионноустойчивых баллонах; имплантированным в медную матрицу; в соединениях включения (клатратах), в которых атомы криптона удерживаются в микроскопических порах за счет сил межмолекулярного взаимодействия.

Степень переработки РАО, особенно наиболее активных материалов, в частности ОЯТ, в целом невелика. По сути, необходимо создание специальной отрасли для обращения с отработанными твэлами, так как в России утилизируют только 30% ОЯТ АЭС и корабельных ядерных установок. Единственный завод ПО «Маяк» (Челябинск-40) предназначен лишь для переработки топливных сборок АЭС с реакторами ВВЭР и БН, транспортных судовых установок и исследовательских ядерных реакторов (порядка 3000 т/год). Обработывается также часть ЖРО низкой и средней активности — на Сибирском химическом комбинате (СХК) под Томском и на горно-химическом комбинате (ГХК) под Красноярском.

В настоящее время нет полного комплекта установок по обработке РАО и на АЭС России. Битуминирование ЖРО используют на двух станциях, их глубокое упаривание — на трех. Твердые отходы прессуют на трех и сжигают на двух АЭС. На остальных станциях они хранятся без переработки. В целом на предприятиях атомной энергетики утилизируют 22,4% САО и НАО, передают другим предприятиям 31,2%, отправляют в специальные хранилища 46,4%.

Помимо названных, имеются региональные хранилища НПО «Радон» под Сергиевым Посадом (Московская область) и г. Сосновый Бор (Ленинградская область). В первый поступают РАО из центральных районов России. В год оно принимает более 3 тыс. м³ твердых и 300 м³ жидких отходов с суммарной активностью 100-200 тыс. Ки. Объемные отходы здесь прессуют, горючие — сжигают. Зола и ЖРО включают в твердую матрицу — цементную, битумную, стекло. Блоки хранят в гидроизолированных приповерхностных саркофагах. Обращение с РАО под Сосновым Бором предусматривает их сбор, накопление и транспортировку от мест образования в Санкт-Петербурге и Северо-Западном регионе, переработку и кондиционирование. Размещение обработанных РАО на временное хранение (50-70 лет) осуществляется в наземных хранилищах, в которых в начале нашего века уже было размещено свыше 60 тыс. м³ НАО и САО (Якушев).

8.3.3. Хранение и захоронение

Термины «хранение» и «захоронение» применяются здесь в том же смысле, что и ранее (разд. 7.1). Хранить — это значит иметь возможность в случае необходимости переместить РАО, изменить их форму, упаковку, модернизировать метод и место хранения. Хранение является временной мерой обращения с отходами, после которой должны следовать их переработка и/или захоронение. Захоронить — означает навечно поместить РАО в специальные пункты (могильники), находясь в которых они выводятся из сферы человеческой деятельности и биологических процессов на времена геологического масштаба, значительно более длительные, чем жизнь многих поколений людей. После захоронения вмешаться в судьбу отходов ныне доступными средствами уже невозможно. Таким образом, захоронение — это финишная операция, один из кардинальных способов решения проблемы РАО. Оно позволяет изолировать любые виды отходов, в том числе, в перспективе, наиболее опасные (высокоактивные с фантастически продолжительными периодами полураспада).

Как уже отмечалось, в настоящее время в России накоплено ~600 млн м³ РАО с активностью около 1,5 млрд Ки. Кроме того, на предприятиях Минатома и других ведомств России хранится около 8,5 тыс. т ОЯТ с активностью около 4,5 млрд Ки. Основная цель хранения отходов, особенно высокоактивных, — в контролируемых условиях снижение их радиоактивности и тепловыделения до уровня, обеспечивающего безопасное транспортирование и предсказуемое некатастрофическое поведение при окончательном захоронении. Другие причины —

недостаток мощностей для обработки РАО, отсутствие необходимых технологий, не полностью решенная проблема надежного захоронения.

Для хранения жидких отходов используют емкости из нержавеющей стали (для ВАО и САО), специальные водоемы, пульпо- и подземные хранилища (для САО, НАО).

Высокоактивные твердые отходы чаще всего помещают в наземные или слабозаглубленные металлические и железобетонные емкости (рис. 8.1), а отходы средней и низкой активности — в хранилища траншейного типа (см. далее) или подземные камеры.

Отработанные твэлы должны находиться под водой, непосредственно вблизи реакторов. Таким образом хранят основное (99%) количество ОЯТ, лишь около 1% его размещено в сухих хранилищах. В бассейнах твэлы с ОЯТ располагают на специальных стойках или стеллажах. Эти стальные или алюминиевые конструкции фиксируют сборки, исключая возможность сдвига ядерного топлива и образования критической массы, в том числе при сейсмическом воздействии на хранилище. Минимальная толщина защитного слоя воды составляет ~3 м, но обычно она достигает 8 м, что эквивалентно 3,4 м бетона. Такая технология хранения обусловлена тем, что твэлы из реактора вынимают разогретыми до 700-800°C.

Поскольку в нашей стране полный комплект оборудования по подготовке ТРО к хранению и захоронению отсутствует, то хранятся они, как правило, без сортировки на группы по виду, материалам и способам обработки. Поэтому большинство хранилищ переполнено, хотя степень их использования зачастую не превышает 50-60%.

РАО при хранении представляют потенциальную экологическую опасность. Ее степень зависит от герметичности, прочности, долговечности тех техногенных барьеров, которыми они отделяются от окружающей среды.

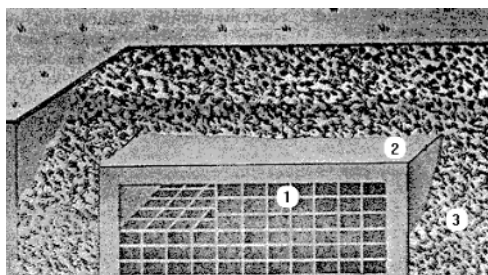


Рис. 8.1. Схема приповерхностного хранилища РАО

1 — контейнеры с отходами; 2 — облицовка ямы (бетон и т.д.); 3 — засыпка (глины, цеолиты и пр.)

Распределение ядерных отходов России (без ОЯТ) по источникам образования и месту хранения дано в табл. 8.5 и 8.6. Поясним их.

В России имеется единственное разработанное месторождение урана — Краснокаменский рудник в Забайкалье. Переработку руды осуществляет Приаргунский ГХК.

На АЭС обращение с РАО заключается в хранении твердых, отвержденных и концентрированных (упаренных) их видов на площадках станций. Это можно допускать только как временную меру, поскольку, например, токсичность ВАО превышает аналогичный показатель сильнейших химических ядов более чем в 2000 раз. Еще значительнее опасность РАО, образующихся при переработке ядерных оружейных материалов на предприятиях Минатома России. Активность их составляет $14,8 \cdot 10^8$ Ки, т.е. превышает ее в РАО электростанций ($4,4 \cdot 10^4$ Ки) более чем в 30 тыс. раз (табл. 8.5). В настоящее время отходы от производства оружейных ядерных материалов хранятся на территории предприятий.

Основной источник радионуклидов — ОЯТ. Их активность (табл. 8.6) втрое превышает ее во всех других типах РАО (табл. 8.5). При этом активность ОЯТ реакторов РБМК составляет $3,0 \cdot 10^9$ Ки или 2/3 содержащейся на АЭС. Однако именно это ОЯТ не перерабатывается и хранится в контейнерах на открытых площадках трех станций, где скопилось более 45 тыс. тепловыделяющих сборок. Отработанное топливо АЭС с реакторами ВВЭР (частично) и БН, транспортных энергетических установок и исследовательских реакторов отправляется на обработку и последующее хранение в ПО «Маяк» или поступает для промежуточного хранения на ГХК под Красноярском.

Непосредственную угрозу экологической безопасности страны создает ситуация с хранением радиоактивных материалов на ВМФ и гражданском морском флоте. Хотя общая активность ОЯТ ($3,2 \cdot 10^7$ Ки), жидких ($6,8 \cdot 10^2$ Ки) и твердых ($2,0 \cdot 10^4$ Ки) РАО в данном случае многократно ниже, чем на АЭС и предприятиях Минатома России, положение чрезвычайно опасно, так как эти материалы размещены в переполненных штатных и временных береговых хранилищах, в плавучих базах. Более 600 т ОЯТ остаются невыгруженными из реакторов АПЛ, выведенных из состава ВМФ. На Северном и Тихоокеанском флотах скопилось свыше 30 тыс. тепловыделяющих сборок, значительная часть которых — в аварийном состоянии.

Зарубежные концепции временного хранения отходов аналогичны российским. В большинстве случаев временными хранилищами служат слабозаглубленные траншеи и железобетонные бункера в глине, в других аллювиальных отложениях. В них помещают сравнительно большие битумные, бетонные или стеклообразные блоки средней активности. Если основными радионуклидами являются Sr-90, Cs-137, Co-60, то их миграция в блоках за период обезвреживания отходов невелика. Вокруг бункера иногда создают дополнительные барьеры в виде облицовки, засыпки сорбентом, слоем глины толщиной 2-3 м. Известны также хранилища курганного типа (Чемерис).

Таблица 8.5

Характеристики радиоактивных отходов на предприятиях
(Довгуша... 1997. № 4; Поляков)

Источник	Вид	Объ- ем, м ³	Актив- ность, Ки	Место хранения
Добыча и переработка руд	Шламы и отвалы пород	$1,0 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^5$	Площадки
Обогащение урана и производство твэлов	Жидкие и твердые	$1,6 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^3$	Хвостохранилища, склады и площадки
АЭС	Концентрированные жидкие	$1,5 \cdot 10^5$	$4,2 \cdot 10^4$	Емкости-хранилища на АЭС
	Твердые	$1,2 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^3$	Хранилища АЭС
	Отвержденные	$1,6 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^3$	Хранилища АЭС
Переработка твэлов, регенерация и производство оружейных ядерных материалов	Жидкие ВАО	$2,5 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^8$	Стальные емкости в ПО «Маяк»
	Остеклованные	$9,5 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^8$	Спецхранилища в ПО «Маяк»
	Жидкие НАО и САО	$4,0 \cdot 10^8$	$7,0 \cdot 10^8$	Емкости, водоемы и бассейны
	Твердые	$1,0 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^7$	Железобетонные приповерхностные хранилища
Эксплуатация атомных подводных лодок	Жидкие	$1,4 \cdot 10^4$	$1,8 \cdot 10^2$	Береговые и плавающие базы
	Твердые	$1,3 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^2$	Бетонные хранилища
ГМФ (ледоколы и контейнеровоз)	Жидкие НАО	$3,9 \cdot 10^2$	0,6	Береговые хранилища
	Твердые ВАО	$1,5 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^4$	Береговые хранилища
	Твердые НАО	$1,4 \cdot 10^3$	$2,1 \cdot 10^2$	Береговые хранилища

Строительство и дислокация АПЛ	Жидкие	$2,5 \cdot 10^3$	$5,0 \cdot 10^2$	Береговые и плавучие базы Хранилища на предприятиях
	Твердые	$1,5 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^2$	
Применение радионуклидных источников	Жидкие, твердые и отвержденные, капсулированные	$2,0 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^6$	На 16 предприятиях «Радона»
Итого:		$6 \cdot 10^8$	$1,5 \cdot 10^9$	

Таблица 8.6

Виды отработанного ядерного топлива на предприятиях (Поляков)

Тепловыделяющая сборка	Масса, т	Активность, Ки	Местонахождение
Реакторов РБМК	6000	$3,0 \cdot 10^9$	Смоленская, Ленинградская, Курская АЭС
Реакторов ВВЭР	1000	$8,0 \cdot 10^8$	Калининская, Балаковская, Кольская, Белоярская, Билибинская и Нововоронежская АЭС
Реакторов ВВЭР-1000	1000	$5,0 \cdot 10^8$	Красноярский горнохимический комбинат
Реакторов ВВЭР-440, БН-350/600, ЕС-150, транспортных ЯЭУ АПЛ	465	$1,1 \cdot 10^8$	ПО «Маяк»
Реакторов атомно-ледокольного флота	30	$1,5 \cdot 10^7$	Береговые и плавучие хранилища
Реакторов атомно-ледокольного флота	7,7	$1,7 \cdot 10^7$	Плавучие технические базы
Итого:	~8500	$\sim 4,45 \cdot 10^9$	

Следует отметить, что физические процессы, происходящие при хранении РАО, еще далеко не изучены. Однако можно полагать, что наиболее опасные из них связаны с интенсивным тепловыделением, весьма тяжелые последствия которого показала катастрофа 1957 г. на

Южном Урале, приведшая к появлению восточно-уральского следа (разд. 8.2).

Проблема захоронения радиоактивных веществ также далека от окончательного разрешения. В настоящее время она частично реализована лишь для низко- и среднеактивных РАО.

В России освоено захоронение ЖРО закачкой их под землю — на единственных в мире полигонах под Дмитровградом, Томском и Красноярском. За 40 лет их эксплуатации через скважины на глубины до 1500 м подано 50 млн м³ растворов, или около половины радиоактивности России от жидких САО и НАО. В частности, на опытно-промышленном полигоне Дмитровграда использованы два горизонта среднего и нижнего карбона на глубине 1140-1470 м. Их мощность составляет 84-143 и 33-72 м с объемом нагнетания растворов соответственно 320-960 и 240-340 м³/сут. Первый горизонт находится в работе с 1973 г., второй эксплуатировали с 1966 по 1973 г. Пробы грунтов с глубины 180-1550 м контрольных скважин показали, что дальность распространения нуклидов достигает 1,2-6,0 км. В пласты-коллекторы полигона «Северный» Красноярского ГКХ удалено более 6 млн м³ отходов с суммарной активностью около 400 млн Ки (Кудинов...).

За рубежом накоплен более значительный опыт обоснования, проектирования, модельного и натурного испытаний хранилищ и пунктов захоронения.

Там основополагающим принципом экологической безопасности и надежности изоляции РАО является их удаление из окружающей человека среды в слабопроницаемые подземные геологические формации с использованием естественных и инженерных барьеров. Они обеспечивают сохранность системы изоляции при различных, в том числе маловероятных, ситуациях. При этом геологические формации выполняют долговременные изолирующие функции. Значение инженерных барьеров во времени ограничено.

Подземная изоляция предназначена прежде всего для твердых, а также отвержденных РАО и может проводиться в могильниках различного типа:

в специально создаваемых подземных сооружениях, камерах, других емкостях с малой (до 100 м), средней (до 100-300) и большой (свыше 300-500 м) глубиной заложения;

в буровых скважинах различной глубины;

в специально оборудованных выработках закрытых рудников, шахт, других подземных сооружениях;

в приповерхностных сооружениях слабозаглубленного типа.

В настоящее время наиболее универсальной и типичной конструкцией для подземного захоронения представляется первый тип могиль-

ника, включающий шахтные стволы, транспортные, вентиляционные и другие вспомогательные выработки, необходимые для обслуживания сооружения, рабочие камеры или скважины для размещения отвержденных РАО или ОЯТ. На поверхности такого могильника должны располагаться пункты для приема упаковок, контейнеров, канистр, бочек и других емкостей с отходами, дезактивационные помещения, бытовые комбинаты, санпропускники и пр.

В ряде случаев для изоляции ВАО предпочтительнее буровые скважины различной глубины. Они обеспечивают меньшие затраты и сроки строительства сооружений в сравнении с подземными хранилищами. Контейнеры с отходами размещают по оси скважины. В ее верхней части устанавливают герметизирующую пробку, перекрывающую не только водоносные горизонты, но и толщу пород над отходами в пределах защитной зоны. Пространство между отходами и стенками скважины необходимо заполнять температурно-устойчивой смесью, например бентонитовой глиной или специальным бетоном.

Предлагается также в массивах горных пород на расстоянии 10 м друг от друга бурить скважины диаметром 2-4 и глубиной до 100 м. Скважины обсаживаются внешней (диам. 2,5 м) и внутренней (диам. 2,0 м) стальными обечайками с ребрами жесткости. Затрубное пространство, дно скважины и пространство между обечайками заполняются бетоном. После обсадки скважины производится загрузка внутренней обечайки корзинами с твелями. Далее организуется вентиляция через свободное пространство между корзинами и внутренней обечайкой, а также через центральную тяговую трубу, проходящую через все корзины. Для полной изоляции ОЯТ скважину закрывают сверху колпаком. Предполагаемые сроки хранения ОЯТ — до 300 лет, с возможным замещением в дальнейшем (после извлечения отработанного топлива) САО и НАО на период до 600 лет. По предварительным оценкам, способ может оказаться в 3,5 раза дешевле сухого хранения в приповерхностных железобетонных хранилищах (Кедровский...).

Использование выработанных рудников и шахт диктуется наличием в них уже имеющихся больших объемов свободного пространства, что обещает экономию капитальных затрат. Однако более глубокий анализ показывает, что перестройка рудника или шахты в могильник является весьма сложной технической задачей и влечет капитальные вложения, сопоставимые с затратами на создание специальных сооружений. Они необходимы, например, на гидроизоляцию и разрыв гидравлической связи рудников и шахт с поверхностью, на укрепление массивов пород и т.д. Обследование 200 рудников Урала показало, в частности, что их состояние не соответствует требованиям к могильникам. За рубежом известен только один

пример использования бывших выработок для захоронения НАО и САО (железорудные рудники в Зальцгиттере, ФРГ).

Могильники приповерхностного типа функционируют во всех странах, имеющих РАО, вследствие относительно небольших временных и финансовых затрат на строительство. Обычно их создают открытым способом в отложениях глин на глубине до 50 м, оставляя защитный слой не менее 6 м между дном хранилища и верхним уровнем воды. Сооружения этого типа подразделяют на траншеи, котлованы, колодцы.

Траншеи и котлованы используют для размещения НАО и САО в местах, удаленных от населенных пунктов. Содержание в этих отходах долгоживущих нуклидов либо совсем не допускается, либо разрешается в количествах, не подлежащих контролю. Изоляция материалов достигается инженерными барьерами (упаковочные контейнеры, ограждения, засыпка, глинистые, цементные, битумные экраны и пр.). Они играют основную защитную роль в течение всего периода сохранения радиотоксичности, когда проводится контроль состояния сооружений и окружающей среды.

Обычно новые методы захоронения предусматривают размещение контейнеров с отходами в бетонных сооружениях с защитными подстилающими слоями толщиной до 1,5-2,0 м. На выровненный фундамент хранилища укладывается до пяти таких слоев из природных и искусственных (дробленный до 1,5-3,0 мм полиэтилен) материалов, сооружается дренаж. Габариты траншей, м: ширина — 25; глубина — 8; длина — около 700 (полигон в Селлафилде, Великобритания). Доза радиации на поверхности заполненной траншеи близка к естественной, составляя 0,2 Гр/ч.

Колодцы (коллекторные трубы большого диаметра) для размещения отходов применяют в районах с резкими колебаниями климата, что может ухудшить физико-механические свойства материалов, используемых при строительстве хранилищ.

Решающее значение при выборе места для подземного захоронения и/или долговременного хранения отвержденных и твердых РАО имеет характер пород геологической формации. В соответствии с современными представлениями (разд. 8.4.1) формации должны быть представлены кристаллическими или многолетними мерзлыми горными породами, каменной солью или глинами.

В практическом плане проблема захоронения ТРО находится на начальной стадии реализации. Только Франция и Германия имеют промышленную практику в этом вопросе. Первая размещала β -излучатели в хранилище (объем 300 тыс. м³) приповерхностного типа в глине на мысе Ар, вторая располагала отходы в соляных шах-

тах в Горлебене, Ассе и Морслебене. Во всех случаях захоронялись низко- и среднеактивные материалы.

В шахте Горлебена (объем 7000 м³) выполнены работы по прокладке над соляным куполом двух стволов на глубину 950 м и тоннеля между ними на глубине 700 м. В эксплуатацию введено также временное централизованное хранилище размером 89×61×5 м для 35 тыс. барабанов емкостью по 200 л, способное принять на промежуточное размещение 1500 т ОЯТ.

В выработках и камерах шахты Ассе в 1967-1978 гг. размещено ~125 тыс. двухсотлитровых бочек со сцементированными отходами низкой активности. Бочки складировали в штабеля или навалом, пересыпая их дробленой солью. В 1972-1978 гг. с целью отработки технологии захоронения делались попытки размещения в камере 1300 бочек по 200 л со среднеактивными отходами.

Камеру рудника Морслебен (бывшая ГДР) заполняли смесью жидких НАО со шлаком ТЭС, т.е. производили закладку камер твердеющей массой.

Работы в Ассе и Морслебене, носившие опытный характер, в настоящее время прекращены.

Остальные страны пока находятся на стадии исследований, полевых экспериментов и опытных захоронений, отложив окончательное решение проблемы на 2020 г. В частности, сейчас в мире нет ни одного полностью введенного в строй могильника для глубинного захоронения ТРО. Это обусловлено не только сложностью проблемы, но и тем, что при временном хранении РАО на поверхности земли легче контролировать процессы тепловыделения, в частности наступления его спада.

Вместе с тем необходимо отметить проектирование, строительство и пуск в эксплуатацию экспериментального могильника WIPP (waste isolation pilot plant). Могильник расположен в США (штат Нью-Мексико, 30 миль на юго-восток от г. Карлсбад), принят в эксплуатацию в 1999 г. Он предназначен только для захоронения короткоживущих *трансурановых отходов*, образующихся в военном производстве: оружейного плутония, ядерных боеголовок, при демонтаже ядерных боеголовок и очистке площадок ядерных военных центров.

Могильник находится в середине мощного (около 900 м) соляного пласта в возрасте 225 млн лет. Горизонт размещения отходов (650 м) состоит по проекту из восьми секций. Каждая из них включает семь камер размерами 91,5×10×4 (высота) метров. Хранилище имеет объем 175,5 тыс. м³ и разделено на две части. В одной (168,5 тыс. м³) можно разместить отходы с уровнем активности, допускающим выполнение ручных операций, в другой (7 тыс. м³) — с уровнем, требующим применения технических средств с дистанционным управлением

(Radioactive...). Общая длина тоннелей, соединяющих секции, составляет 7,5 км. Первые заложения включили 50 тыс. стальных контейнеров, содержащих 13 т плутония с активностью 5,1 млн Ки (Larson).

Предполагается, что WIPP будет принимать отходы до 2033 г. К этому времени намечено провести очистку 137 площадок в 33 шахтах с суммарной площадью территории 8500 км² (Ильенко...).

Более обширен зарубежный опыт захоронения жидких и отвержденных отходов, в котором проявляется тенденция их размещения в одном могильнике на значительных глубинах. Для этого используют шахты и штольни, преимущественно в массивах каменной соли. Средне- и низкоактивные материалы складывают навалом или в бочках и канистрах. Высокоактивные РАО опускают в скважины в основании камер и штреков. В некоторых случаях создают дополнительные инженерные барьеры.

Наиболее продолжительный опыт захоронения РАО накоплен в США. Первый из полигонов был открыт на территории Хэндфордского военного комплекса площадью 1450 км², основанного в 1943 г. (р. Колумбия, штат Вашингтон). Сейчас здесь сосредоточено 60% ВАО США. В грунтовых траншеях содержится ~75 тыс. т химически опасных отходов и 90 тыс. Ки радионуклидов. Военные отходы хранят в основном в подземных стальных емкостях государственного резерва. Около 750 млн м³ водных растворов НАО закачано в пруды-испарители, бассейны выдержки, 64 подземные емкости, ямы и траншеи. Предполагалось, что подземные базальтовые слои, на которых размещен комплекс, являются уникальной средой для размещения РАО и опасные радионуклиды достигнут р. Колумбия не ранее чем через 200 лет, в течение которых их активность снизится до приемлемой. Реальность оказалась иной. Захоронение РАО и опасных химических отходов непосредственно в грунт привело к обнаружению загрязнений за пределами комплекса уже в 1956 г. (Довгуша..., 1996).

В настоящее время в США активно разрабатываются технологии глубокого подземного захоронения. На полигоне в штате Невада (разд. 8.4.2) начато экспериментальное хранение ЖРО. Канистры с отходами размещают на глубине 420 м в штреках, являющихся продолжением пройденных для испытательных взрывов выработок. На бывшем ядерном полигоне Юкка-Флетс проводятся эксперименты по хранению ВАО в контейнерах из нержавеющей стали, помещенных в скважину глубиной 420 м (Кривоухатский).

Кардинально, в масштабах всей страны, решается проблема подземного захоронения РАО в Германии. Министерство по делам окружающей среды земли Нижняя Саксония недавно вынесло окончательное решение о предоставлении фирме Конрад под хранение РАО за-

крытых железорудных рудников в Зальгиттере. Они имеют два вертикальных ствола, расположенных на расстоянии 1500 м друг от друга: на Конрад-1, эксплуатировавшемся в 1957-1960 гг., до глубины 1232 м, и на Конрад-2 (1960-1962 гг.) до глубины 999 м. Хранилище организовано на горизонтах 800-1300 м. Оно особенно удобно для размещения крупногабаритных РАО, образующихся при монтаже АЭС, учитывая, что диаметр ствола шахты составляет 7 м. Контейнеры с отходами предполагается укладывать в штабеля в галереях длиной 80 м и более, засыпая их сверху перемолотыми горными породами. Вместимость первой очереди хранилища — 90 тыс. м³, общая — 650 тыс. м³. Уже в первоначальный (до 1991 г.) период использования хранилища в нем были помещены α -излучатели общей активностью $1,5 \cdot 10^{17}$ Бк, β - и γ -излучатели с активностью $5 \cdot 10^{18}$ Бк. По прогнозам, потребность в объемах захоронения к 2080 г. достигнет 400 тыс. м³. Окончательное оборудование складов в соответствии с нормативами последнего времени потребует не менее 4 лет и инвестиций, равных 1,4 млрд марок ФРГ (Stines...).

В Испании организовано централизованное захоронение НАО и САО, поступающих от 7 АЭС. К месту захоронения El Cabrid в Ю.Испании железнодорожным транспортом (расстояние 350-950 км) ежегодно перевозится 9 тыс. бочек емкостью по 220 л. Поступающие бочки укладывают по 18 штук и заливают бетоном, образующиеся кубы массой по 25 т после проверки уровня радиации краном помещают в склад.

В Финляндии уже более 20 лет функционирует подземный могильник объемом 5400 м³ для НАО электростанций, расположенный в скальном грунте на глубине 60-100 м. Отходы в стальных бочках или коробках размещают в емкости-цилиндры диаметром 24 и высотой 34 м. После заполнения емкости ее на подушке из гравия герметизируют цементным раствором. Битуминизированные САО складывают в хранилище объемом 3100 м³, используя стальные бочки.

В Великобритании для размещения могильников РАО и САО выбран площадка вблизи заводов по переработке ОЯТ в Селлафилде. Эти предприятия дают почти 60% РАО, подлежащих захоронению. Вначале будут сооружены 8 камер в вулканических породах на глубине 700-1000 м, затем начнется оборудование камер для НАО. Хранилище предполагается ввести в действие в 2006 г., законсервировать в 2055 г. Проектная мощность могильника — до 6 млн м³, суммарные затраты на разработку и реализацию проекта составляют 2,5-3,5 млрд ф. ст. (в ценах 1991 г.).

Бельгия строит экспериментальное хранилище в глинах, на глубине 250 м. Оно представляет систему галерей, из которых пробурены

наклонные скважины для спуска канистр. Сами галереи также закладывают упаковками с отходами.

В Швейцарии создано опытное хранилище Гринзель — тоннели в кристаллической породе.

Таким образом, приняв концепцию окончательного глубокого подземного захоронения РАО, разные страны используют для этого различные геологические формации: глины (Бельгия, Италия, Франция, Япония), скальные породы (Аргентина, Великобритания, Индия, Испания, Канада, США, Финляндия, Франция, Швейцария, Швеция, Япония), каменную соль (Испания, Нидерланды, США, Франция, Германия), шахты (Бельгия, США, Германия).

Заканчивая рассмотрение проблемы хранения и захоронения РАО, необходимо отметить наличие в ней двух тенденций, относящихся к способам организации работ, — локальному или централизованному размещению отходов.

Локальная концепция предусматривает хранение-захоронение отходов по месту их возникновения. Это экономит время, средства, снимает проблему безопасной транспортировки. Однако такой подход постепенно приведет к «расползанию» радиоактивных веществ, увеличению числа охранных зон.

Централизованная схема предполагает организацию пунктов захоронения для всей страны или группы стран в немногих наиболее подходящих местах. Такой подход в стратегической перспективе экологически более приемлем, позволяя выбрать наилучшие решения по захоронению отходов на неопределенное время. Однако в этом случае обостряется вопрос о стоимости и безопасности перевозок РАО, о противодействии им значительных групп населения, более обеспокоенных сохранением радиационной безопасности для своего поколения, чем угрозой будущим землянам спустя многие сотни и тысячи лет.

Можно полагать, что не только современный уровень развития науки и техники не позволяет сделать окончательный выбор. По-видимому, универсального решения проблемы захоронения РАО не существует.

8.4. Стратегические решения по захоронению высокоактивных долгоживущих радионуклидов

Рассмотренные практически используемые решения по обработке, хранению и захоронению относятся в основном к НАО и САО (разд. 8.3.2, 8.3.3). Опыт размещения ВАО незначителен. Однако далее откладывать практические работы по решению проблемы локализации ВАО нельзя, поскольку они содержат подавляющую долю

радионуклидов и во все возрастающих масштабах, часто в необработанном виде, скапливаются на земной поверхности.

Сложившееся положение в значительной степени объясняется чрезвычайно высокой активностью ВАО, обуславливающей интенсивное тепловыделение в течение многих лет после их образования. Однако главная проблема — долгоживучесть многих радионуклидов, периоды полураспада которых составляют от сотен до многих миллионов лет. Именно этим объясняется безмерно высокая цена принимаемых ныне решений, позитивные или негативные последствия которых будут решающим образом сказываться на условиях и самой возможности существования неисчислимых поколений землян.

При дефиците опыта на первый план здесь выходят научная разработка фундаментальных принципов и прогноз последствий захоронения долгоживущих ВАО. В ряде случаев глубина прогноза — миллионы лет, в частности применительно к оружейному плутонию и другим элементам (табл. 8.1).

8.4.1. Общие представления

В настоящее время полагают, что необходимы такие надежное захоронение веществ с долгоживущими радионуклидами и изоляция отходов в течение длительного времени, при которых даже при выбросе радиоактивных материалов инженерное обеспечение места захоронения исключало бы их воздействие на окружающую среду. Это возможно лишь при подземном захоронении долгоживущих активных отходов. Захоронению последних должно предшествовать их контролируемое временное хранение в течение 40-100 лет в приповерхностных хранилищах с целью снижения активности и тепловыделения. Окончательное захоронение ДАО производится в глубоких геологических формациях после начала охлаждения отходов.

Временное хранение и окончательное захоронение ДАО являются основными элементами так называемой многобарьерной концепции защиты окружающей среды от распространения радионуклидов в биосфере. В эту защиту входят:

иммобилизация отходов с помощью химических соединений, связывающих радионуклиды, и их матрицирование (боросиликатное или алюмосиликатное стекло);

помещение иммобилизованных РАО в контейнеры и другие емкости с охранным слоем;

временное хранение отходов в приповерхностных хранилищах;

перемещение ДАО в подземный могильник с защитой контейнера буфером толщиной 2-3 м из затампонированной глины;

гидроизоляция пункта захоронения и отчуждение блока.

Изложенная схема позволяет захоронить ДАО практически навечно, поскольку, по оценкам, утечка любого радионуклида спустя 1000 лет не превысит 10^{-5} их исходного содержания.

Основным барьером на пути миграции радиоактивных веществ должны явиться вмещающие геологические формации, которые при надлежащем выборе их типа и участка гораздо стабильнее, чем любые искусственные барьеры. Такой подход, возможно, позволит в дальнейшем отказаться от последних и ограничиться только мероприятиями, обеспечивающими безопасность транспортирования РАО и обращения с ними лишь в период загрузки пункта захоронения.

Пункту захоронения на поверхности земли необходима санитарно-защитная зона. В ней допускается появление радионуклидов, но за ее границами их активность не должна достигать опасного уровня. В частности, после заполнения и консервации могильника радиоактивность над его поверхностью, с учетом доли других техногенных и естественных загрязнителей и при хроническом облучении человека, не должна превышать 1 мЗв/год (предел риска $1 \cdot 10^{-5} \text{год}^{-1}$). Посторонние для могильника объекты следует удалять на расстояния не меньше трех радиусов зоны захоронения. Под землей СЗЗ представляет собой отчужденный блок горного массива, который необходимо изымать из сферы человеческой деятельности на период распада всех радионуклидов до безопасного уровня.

Сформулировано несколько основных требований к геологической среде могильника:

возможно создание подземных выработок шахтного типа на глубинах свыше 300 м в непроницаемых горных породах, исключаящих движение подземных вод;

не допустимы геологические среды с тектонической нестабильностью, с сейсмической активностью, превышающей 6 баллов по шкале MSK-64;

необходимо удаление места захоронения от очагов вулканической деятельности не менее чем на 500 км;

в геологической формации не должно быть месторождений полезных ископаемых, так как в будущем они могут стать причиной непреднамеренного проникновения людей в могильник;

следует допустить, что за время функционирования хранилища возможно наступление, по крайней мере, одного ледникового периода и ущерба от изменения климата более катастрофического, чем от аварии непосредственно в могильнике.

Многолетние исследования показали, что этим требованиям отвечают три типа геологических формаций: скальные породы магматического и метаморфического типов (гранит, базальт, амфиболиты, габбро, диабазы и др.); каменная соль; отложения глин. Эти материалы широко распространены, имеют необходимую мощность пластов (более 30 м).

Из скальных пород более предпочтительны формы с повышенной основностью (габбро, диабазы, амфиболиты и т.п.). Для них типичны гидротермальные преобразования, обуславливающие замещение первичных минералов вторичными с высокой сорбционной емкостью по радионуклидам и меньшими плотностями. Последнее должно приводить к коагуляции пор и трещин, снижению проницаемости горных пород. Аналогичные процессы в гранитоидах протекают с гораздо меньшей интенсивностью и практически не изменяют их проницаемости. Для основных пород последняя минимальна при 200-300°C, что соответствует предполагаемым температурным условиям в могильнике. Перспективность скальных пород значительно возрастает, если они представлены мелкозернистыми формами, залегающими между толщами сланцев. По петрографическим оценкам, данная комбинация относится к вязкопрочным средам с наиболее высокой механической стабильностью. Различные варианты размещения могильников в скальных породах разработаны в ряде стран (США, Швеция, Канада, Швейцария, Финляндия, Франция).

Наиболее перспективны соляные массивы. В них отсутствуют воды (иначе массив не мог бы сформироваться и существовать 200-400 млн лет), почти нет включений жидких или газообразных примесей. Они достаточно прочны (на уровне 15-35 МПа) и пластичны, поэтому при нагрузке более 20 МПа нарушенные структуры в них могут самозалечиваться. Для них характерна высокая теплопроводность, поэтому в соляные массивы можно помещать РАО с более высокой активностью (тепловыделением), чем в другие породы. Наконец, известны многие разнообразные и недорогие способы создания в соли горных выработок и полостей объемом 300-500 тыс. м³ и выше, например геотехнологические методы. К недостаткам соляных залежей относится их незначительная сорбционная емкость.

Кроме того, необходимо учитывать, что в структуре соляного массива всегда содержится до 3% жидких и газожидких включений, заполненных насыщенным водным раствором соли (рассолом) и парами воды. Размер их варьирует от нескольких микрон до нескольких метров. При загрузке контейнеров, температура которых вследствие тепловыделения ВАО превысит 100°C, включения могут мигрировать в направлении источника тепла (к нише с отходами). При этом жидкая их часть принесет соль, количество которой может оказаться достаточ-

ным для активной коррозии контейнера (Амандосов...). Необходимо также учитывать эффект «всплытия» соляного свода (см. далее).

Из двух основных разновидностей соляных массивов предпочтительнее сложенные каменной солью (NaCl). Залежи поташа (KCl) являются более ценным сырьем для народного хозяйства, поэтому их целесообразно использовать после промышленной отработки месторождения.

Пластовые и купольные месторождения каменной соли, пригодные к использованию для захоронения РАО и ОЯТ, имеются в ряде стран (США, Германия, Франция, Испания, Нидерланды, Дания, страны СНГ).

Отложения глин — наиболее распространенные осадочные породы. Их положительными свойствами являются низкая проницаемость, высокие сорбционная емкость по многим нуклидам и пластичность. Ряд стран (США, Великобритания, Франция, Италия, Бельгия и др.) предполагают использовать различные глинистые формации для захоронения ВАО и ОЯТ.

Одно из требований к пунктам захоронения — совместимость конструкционных материалов, особенно наружного слоя упаковки РАО, с породами и грунтовой водой. Необходимо учитывать неодинаковый характер выщелачиваемости блоков из различных материалов (бетон, битум, керамика, стекло), коррозию стальных или других контейнеров. На эти процессы влияют температура, тип вод и породы, другие факторы. Так, при выделении влаги из разогревающихся РАО в соляных камерах, как отмечено выше, будет достаточно интенсивно протекать коррозия металлических контейнеров. В этом случае защитная роль технических барьеров невелика. В скальных породах типа базальта достаточно надежным считают захоронение остеклованных ВАО в многослойных контейнерах из меди или нержавеющей стали с добавками В, Cd, Cu, Ti, Pb. В этом случае при толщине стенки 10 см срок службы медного контейнера оценивается в 1 млн лет, стального — 30-100 лет.

Возможное влияние радиационных эффектов на окружающую среду после захоронения представляется несущественным. Даже наиболее жесткое γ -излучение в основном поглощается в матрице РАО. Лишь небольшая часть проникает в окружающую породу на расстояние ~1 м. Излучение дополнительно ослабляется тем, что на этом же расстоянии развиваются наибольшие термические воздействия, облегчающие залечивание радиационных повреждений. Радиолит воды с выделением газов также ограничен по расстоянию.

Оптимальная глубина захоронения признается равной 300-1500 м. Его верхняя граница должна проходить ниже горизонта, в котором возможны трещины, связанные с поверхностью, или процессы денудации

(разрушение горных пород). Нижняя граница захоронения диктуется наличием устойчивых массивов и экономической целесообразностью.

Таким образом, пункты захоронения — это геотехнологические системы, к которым предъявляется ряд обязательных требований. Прежде всего горная порода, в которой размещается ВАО, должна иметь низкое содержание вод и высокую водонепроницаемость. Безопасность захоронения в длительный период времени всецело зависит от того, перейдут ли радионуклиды в воду или будут находиться в твердой фазе. В последнем случае коэффициент диффузии радионуклидов в матрице и грунте настолько мал (10^{-19} см²/с), что за миллионы лет они переместятся всего на несколько метров даже при разрушении конструкции и прямом контакте отходов с породой. Коэффициент диффузии веществ в воде больше, чем в твердой фазе, на 2-5 порядков. Таким образом, скорость переноса нуклидов при наличии воды может увеличиться в тысячи раз даже в отсутствие ламинарных и, тем более, конвективных потоков. Наличие последних резко увеличивает вынос радионуклидов из матрицы в горный массив и за его пределы.

Подобрать участок, удовлетворяющий требованиям по водонепроницаемости, сложно. Так, при прохождении Кольской сверхглубокой скважины трещины и воды были обнаружены на глубине более 10 км. Наименее водопроницаемы, как отмечено выше, массивы каменной соли. Однако и они неидеальны. В них присутствуют полости, заполненные рассолом, передвигающимся к источнику тепла (в сторону РАО). Вода, достигнув соляной полости, испаряется с последующей конденсацией на более холодном своде могильника. В результате свод растворяется и постепенно перемещается вверх — «всплывает». Хотя этот процесс идет весьма медленно, оценка показывает, что за время существования пункта захоронения свод может всплыть на десятки метров.

Другой важный фактор, который необходимо учитывать при захоронении, — температурный режим могильника. При захоронении НАО и САО температура стенки полости или скважины не превышает среднюю по массиву более чем на 50°C. В этом случае испарения воды и разложения минералов не происходит. При размещении ВАО мощное тепловыделение приводит к плавлению породы (скальной или соли) с последующим застыванием расплава и фиксированием в нем радионуклидов. При этом из жидких ВАО испаряется вода, т.е. в конечном счете захороняются твердые РАО, но процесс упаривания ЖРО переносится под землю.

В целом вопрос об оптимальном температурном режиме могильника остается дискуссионным. Одни специалисты полагают, что температура на границе контейнер-горная порода не должна превышать 100-110°C, чтобы исключить образование пара и механических напряжений, которые могут

привести к деформации породы и появлению трещин в массиве. Другие считают, что для предотвращения нежелательных последствий достаточно установить размер отчуждаемого блока, равный нескольким сотням метров, и тогда вне его цельность горного массива будет сохранена даже при сильном разогреве в пункте размещения РАО. В любом случае тепловыделение и повышение температуры относительно краткосрочны. По расчетам, максимальный нагрев среды достигается через несколько десятков лет после захоронения, затем температура начинает спадать.

Недавнее выдающееся научное открытие позволило укрепить мнение, что захоронение РАО на времена, сопоставимые с геологическими периодами, не нанесет значительного ущерба окружающей среде. В Окло (Габон) выявлен природный ядерный реактор, активная фаза работы которого закончилась 2 млрд лет тому назад. Это позволяет изучить долговременные геохимические последствия нахождения ядерного реактора в геологической среде. Так, поведение продуктов деления и трансурановых элементов природного реактора помогает оценить последствия размещения ОЯТ в породах. Выявлено, в частности, что вулканизм (внедрение долеритов за ~750 млн лет до н.э.) не оказал заметного влияния на распределение элементов. Новые зоны реактора отличаются высокой степенью сохранности. Исследования показали, что наибольшую миграционную подвижность в геологической среде имеют Cr, Sr, Ba, Mo, наименьшую — Nb, Zr, редкоземельные элементы, Th, U, Pu.

В заключение следует отметить, что одно из важнейших требований к подземному могильнику состоит в том, чтобы информация о его местонахождении дошла до людей далекого будущего. Их необходимо предупредить о захоронении такими указателями и уведомляющими надписями, которые будут видны с земли и воздуха, доступны для обнаружения средствами геологической разведки и понятны.

8.4.2. Перспективные инженерные решения

В настоящее время суммарная активность ОЯТ ($\sim 4,45 \cdot 10^9$ Ку), жидких и отвержденных ВАО, образующихся при регенерации и производстве оружейных ядерных материалов ($7,7 \cdot 10^8$ Ку), составляет 87% накопленной в России (табл. 8.5 и 8.6). Аналогично положение и других стран с развитой атомной энергетикой и производством ядерного оружия. Вместе с тем именно эти категории материалов еще не захороняют, ни один могильник твердых ВАО в мире пока не эксплуатируется, хотя они уже проектируются, строятся и известны отдельные попытки захоронения.

Разработанные инженерные решения относятся прежде всего к захоронению ОЯТ — как в виде отходов его регенерации (закрытый цикл использования топлива), так и непереработанного (открытый цикл). Варианты могильников смешанных отходов, т.е. суммы ВАО регенерации и нерегенерированного топлива, приняты в ФРГ и США. Технологии выбора и изучения площадок, подходящих для захоронения, а также размещения и изоляции контейнеров в могильниках, исследуют и в других странах (Канада, Япония, Франция, Великобритания, Швеция, Швейцария, Бельгия и т.д.).

Полагают, что в настоящее время имеются достаточные данные для демонстрации осуществимости эксплуатации могильника ОЯТ. Так, ряд технологий, планируемых для подготовки отработанного топлива к захоронению, проверен на стадии временного хранения ВАО и захоронения НАО и САО. Это, например, практиковавшееся десятилетиями складирование топливных сборок в мокрых и строящихся в последние годы сухих хранилищах. Переупаковка ОЯТ из контейнеров мокрого в контейнеры сухого хранения, освоенная в ряде стран, очень похожа на операцию перемещения ОЯТ из контейнеров временного хранения в контейнеры конечного захоронения. Имеется также широкий мировой опыт транспортирования ОЯТ. Частично опробованы инженерные мероприятия, которые необходимо проводить непосредственно перед захоронением: обеспечение нужного объема и плотности размещения РАО, систем безопасности и надзора, в том числе долговременного контроля за температурой, давлением и активностью в пункте захоронения и отчужденном блоке, за миграцией радионуклидов по горному массиву.

Вместе с тем нужны новые разработки будущих операций в могильниках, оценка всех аспектов их безопасной эксплуатации, определение стоимости таких систем, выявление проблем, нуждающихся в значительной технологической проработке до того, как сооружение будет задействовано, преодоление уже известных трудностей (залитка контейнеров металлическим уплотнителем, применение большегрузных контейнеров, масса которых превышает возможности существующих машин и механизмов).

В наибольшей степени в разработке процессов захоронения ОЯТ продвинулись Германия и США.

В ФРГ эти исследования с 1979 г. проводились применительно к ОЯТ открытого ядерного цикла. В 1985 г. Федеральное правительство объявило, что данная технология будет разрабатываться до степени технической готовности. Существует также проект технологии захоронения отходов регенерации ОЯТ. В связи с этим выполнен концептуальный проект опытного многоцелевого завода, на котором будут разрабатываться и демонстрироваться кондиционирование (разбор-

ка/разрезка) и контейнеризация крупногабаритных и тяжелых упаковок всех типов ДАО, предназначенных для захоронения. Площадка завода находится в солевых массивах Горлебена (Нижняя Саксония), рядом с промежуточным хранилищем (разд. 8.3.3). Лицензия на строительство выдана в 1990 г.

Важную роль при захоронении ОЯТ открытого типа германский проект отводит контейнерной системе «Pollux» (рис. 8.2).

Она предназначена как для долговременного хранения отходов, так и для их окончательной изоляции в отложениях каменной соли. Контейнер «Pollux» имеет двойную упаковку и рассчитан на восприятие внешнего давления в 30 МПа. Первая упаковка рассматривается как контейнер для захоронения и состоит из газонепроницаемого сварного кожуха из стали, обеспечивающего безопасную изоляцию ОЯТ. Вторая упаковка повышает степень механической защиты изделия в це-

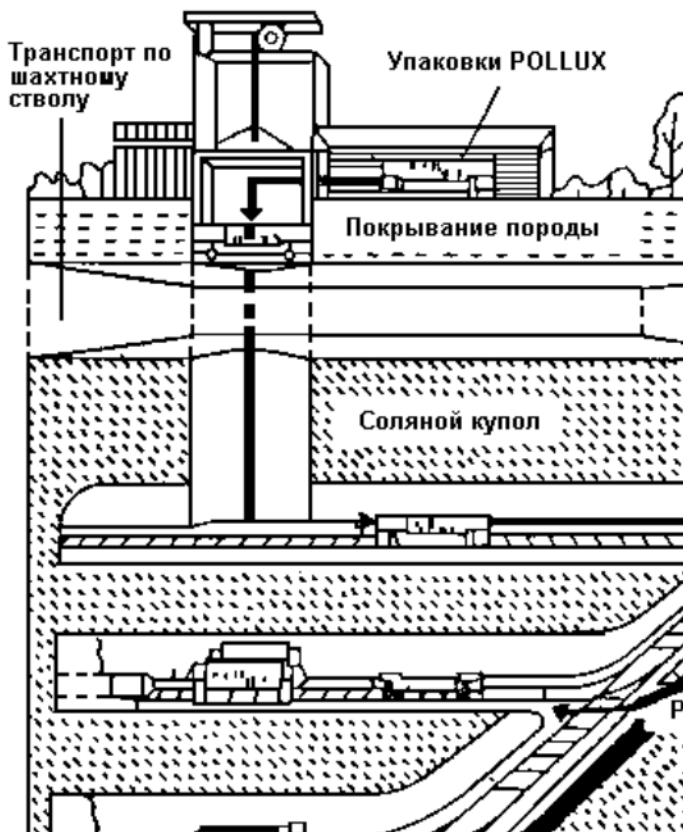


Рис. 8.2. Схема подземного транспорта и размещения упаковок Pollux

лом. Система может быть применена при захоронении через скважины и горные выработки, в зависимости от массы ОЯТ в контейнере.

Контейнеры «Pollux» имеют значительные габариты (диаметр×длина=1,5×6 м) и массу (65 т). Поэтому главной задачей программы немецких исследований и разработок является демонстрация в натуральном масштабе безопасного перемещения в могильнике крупногабаритных и тяжелых контейнеров. Схема их транспортирования выглядит следующим образом. В надшахтном здании могильника контейнеры грузят на самоходную платформу рельсового транспорта, которая клетью горизонтально опускается по стволу шахты ($d = 7$ м) до уровня захоронения на глубине 830-1140 м. Далее она по рельсовым путям перемещается к камере захоронения. Здесь контейнер подъемным механизмом вначале приподнимают, выкатывая из-под него платформу, а затем опускают его на подошву камеры и закрывают эту часть выработки дробленой солью. С течением времени тепловыделение и горное давление деформируют выработку и уплотняют солевую засыпку, которая, по расчетам, через несколько десятков лет достигнет прочности окружающих пород.

Контейнеры с отходами регенерации топлива также будут опускаться в шахту, возможно, перемежаясь с контейнерами «Pollux».

Разработаны также контейнеры более легкого типа ($d = 0,43$ м, масса 1,2 т). Их предполагается размещать в вертикальных скважинах, пробуренных из выработок. Они имеют более высокую дозу излучения на своей внешней поверхности (~ 105 мЗв/ч), чем контейнеры «Pollux» (0,2 мЗв/ч), поэтому их доставка по выработкам будет производиться в специальных транспортных устройствах, надежно защищающих персонал от воздействия радиации.

Демонстрационные опыты по захоронению, помимо транспортирования по стволу, подземного перемещения и укладки отходов, предусматривают также исследования теплового и механического поведения заложной камеры, оптимизации конструкции могильника, других подземных и наземных операций с отходами.

Помимо рассмотренных, в Германии с 1983 г. разрабатывается особая программа захоронения ОЯТ высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов HTGR (high temperature gas reactor). Его предполагается осуществлять в вертикальных скважинах, пройденных в соляных пластах (рис. 8.3). В соответствии с предлагаемой схемой сферические твэлы упаковывают в контейнеры емкостью 400 л, заполняя пустоты инертным материалом (песком). Затем упаковки помещают на специальную тележку, которая загрузочной машиной опускается в необсаженные вертикальные скважины глубиной 310 м. Заполненные сква-

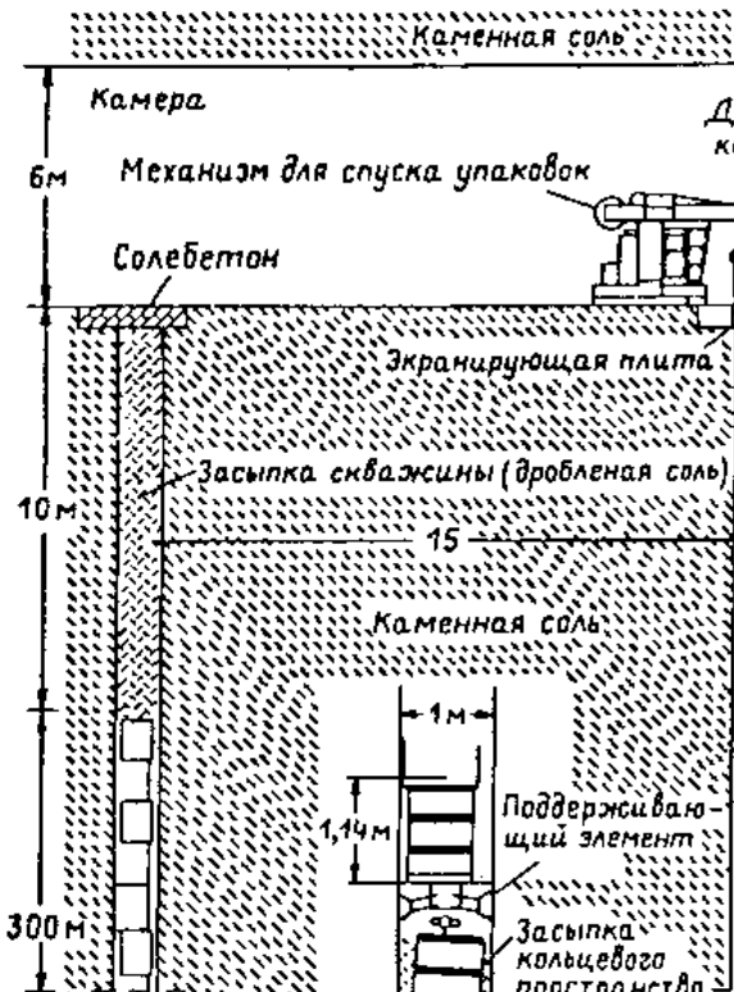


Рис. 8.3. Схема захоронения упаковок с топливом HTGR в необсаженных вертикальных скважинах

жины герметизируют забивкой, в основном из дробленой соли, и закрывают бетонной плитой.

В США первоначально были приняты к исследованию 9 участков возможного расположения пункта глубокого захоронения. Среди них — базальтовый массив в районе Хэндфорда (штат Вашингтон), туфы испытательного ядерного полигона в штате Невада, соляные пласты в

штатах Техас и Юта, соляные купола в штатах Луизиана и Миссисипи. К 1986 г. для дальнейших исследований оставили участки в Юкка Маунтейн (Невада), Хэндфорде и Диар Смит Каунти (Техас). Из них в 1987 г. для строительства первого национального постоянного хранилища был выбран район Юкка Маунтейн. Работы на нем ведутся с 1982 г. Министерством энергетики с санкции Конгресса и президента США. Участок находится в 160 км северо-западнее г. Лас-Вегас и предназначен для захоронения в подземном могильнике преимущественно ОЯТ, а также ограниченного количества отходов регенерации топлива. Могильник проектируется на глубине свыше 230 м от поверхности, уровень подземных вод находится на 200-400 м ниже этого горизонта.

Совокупность природных, сейсмических и тектонических условий, по оценкам многих специалистов, обеспечивает стабильность района Юкка Маунтейн, по крайней мере, в течение ближайших 10 тыс. лет, на которые рассчитывается проект захоронения. Предполагается, что время первого выхода радиоактивных частиц за пределы контрольной зоны наступит не ранее 1000 лет. Полигон и зона отчуждения займут площадь соответственно 100 и 10 тыс. км². Ближняя зона, как прогнозируется, будет, по существу, безводной в ближайшие 300, а возможно, и свыше 1000 лет.

ОЯТ будет поступать на захоронение в виде цельных сборок или контейнеров ($d = 0,7$ м; длина — 4,0-7,5 м) с топливными стержнями. Сборки предполагается размещать цельными или после уплотнения на площадке могильника. Контейнеры смогут вмещать топливные стержни от 7 сборок PWR (pressuring water reactor) или 14 сборок BWR (boiling water reactor), отделенных от арматуры и спрессованных перед загрузкой. Прогнозируемый срок их службы в условиях могильника — 300-1000 лет.

Контейнеры опустят в скважины (вертикальные или горизонтальные), оставляя между ними и вмещающими породами свободное пространство. Предельные тепловые нагрузки на одну упаковку приняты равными 3,3 кВт (PWR) и 2,66 кВт (BWR). Это должно гарантировать температуру разогрева не более 350°C, что исключает разрушение цирконовой оболочки ОЯТ. Начальная тепловая нагрузка в могильнике задана в 12 Вт/м², что обеспечивает размещение 18 тыс. контейнеров на площади 6,2 км².

Могильник проектируют с учетом возможности извлечения размещенных в нем продуктов в любое время в течение 50 лет после начала заполнения. В первые 5 лет масса принимаемых отходов возрастет с 400 до 1800 т/год, а затем стабилизируется на уровне 3000 т ежегодно. Хранилище сможет принимать ОЯТ уже через 5 лет после выгрузки из реактора. Его общее количество или эквивалентная масса

ВАО от регенерации ОЯТ составят ~70 тыс. т. Однако уже к 2000 г. ожидается накопление более 41,6 тыс. т отходов АЭС, объем ВАО оборонных программ после их отверждения может достичь 10 тыс. т. В связи с этим рассматривается возможность строительства второго могильника.

Предполагается, что могильник начнет функционировать в 2010 г. и будет эксплуатироваться 25 лет с последующим его закрытием в течение 4-10 лет.

В последнее время появилась информация о том, что Юкка Маунтейн не пригодна для размещения ВАО и шансы Министерства энергетики США на получение лицензии для строительства хранилища невысоки. Из возможных причин отказа отмечается, в частности, присутствие неустойчивых пород, приходящих в движение уже при ускорении менее $0,02 \text{ м/с}^2$, а также результаты обработки палеогеологических данных J.S.Srymansky. Этот специалист пришел к заключению, что возможен подъем уровня подземных вод выше хранилища, так как в геологическом прошлом воды фиксировались над пластом спекшихся туфов — кандидата для размещения отходов (*Радиоактивные...*). Однако Конгресс и президент США приняли окончательное решение о депозитарии РАО в штате Невада (Chu).

Стоимость всей системы захоронения отходов США оценивается в 30 млрд дол., из которых к началу 21 в. на Юкка Маунтейн затрачено до 7 млрд (Macilvain).

Интересна программа Швеции по обращению с высокоактивными долгоживущими радионуклидами. Как известно, эта страна в 1980 г. приняла решение о прекращении строительства новых АЭС. Ее ядерная программа завершается в 2010 г., к которому будет накоплено почти 7000 т ОЯТ. Программа предусматривает его промежуточное хранение, последующее кондиционирование и упаковку топливных сборок в коррозионноустойчивые герметичные контейнеры, захоронение последних в глубоком могильнике.

В соответствии с этой схемой после выгрузки из реакторов и хранения на АЭС в течение одного года ОЯТ транспортируют в центральное промежуточное хранилище СЛАВ, где его должны выдерживать 30-40 лет в подземном водоеме. Окончательное захоронение ОЯТ предусматривается в 2015-2025 гг. Транспортная система и СЛАВ уже функционируют. В стране применяется морская перевозка ОЯТ от всех АЭС на специально построенном корабле, поскольку атомные предприятия расположены на морском побережье. Промежуточное хранилище построено в Форсмарке в гранитном массиве на глубине 50-100 м ниже уровня моря. Массив поднимается со скоростью 6 мм/год, и при сохранении данной тенденции через 1000 лет возможно попадание радионук-

лидов в воду. В связи с этим содержание трансураниевых долгоживущих элементов в отходах намерены ограничивать.

После промежуточного и перед окончательным захоронением ОЯТ будет перевозиться на специальное предприятие для контейнеризации. Лучшим материалом контейнера признана медь, толщина его стенок принята равной 200 мм, предполагаемая температура на поверхности не должна превышать 100°C. Изучались различные конструкции контейнера. В одном из вариантов он вмещает 8 топливных сборок BWR, залитых свинцом и запаянных электронно-лучевой сваркой. В другом варианте в контейнере находится 9 топливных сборок BWR, засыпанных медным порошком и загерметизированных горячим изостатическим прессованием. При этом медный порошок уплотняется и спекается в твердую матрицу, охватывающую стержни ОЯТ.

Пункт окончательного захоронения предполагается создать на глубине 500-1000 м в массиве кристаллических пород бывшей железорудной шахты в Стриле. Контейнеры намечают опускать по одному в каждую скважину диаметром 1,5 м и длиной 7,5 м, скважины закладывая блоками прессованного бентонита. После заполнения отходами в 2060 г. все выработки и шахтные стволы должны быть загерметизированы смесью песка и бентонита. Срок хранения рассчитан на 10 тыс. лет.

Другой шведский проект предусматривает удаление контейнеров с ОЯТ в скважины большой глубины. К преимуществам варианта относят снижение гидрогеологической активности на больших глубинах, создание пробки большой высоты в верхней части скважины, значительно более протяженные пути миграционных процессов. Данный проект (1991 г.) требует детального обоснования возможного воздействия отходов на окружающую среду, разработки техники и технологии бурения скважин большого диаметра (~1 м) на глубину 4-6 км.

В Канаде способы захоронения ОЯТ начиная с 1978 г. изучаются применительно к районам Онтарио, Саскачеван, Новая Шотландия. Могильник предполагается создать в гранитах Канадского щита. Его емкость определяется из расчета накопления 225 т ОЯТ к 2035 г. Их временное хранение намечается в транспортных контейнерах, которые обеспечивают, как считают, защиту от облучения при нормальных и аварийных условиях. При перевозке к могильникам их крепят к транспортным средствам. После доставки к могильникам отходы из транспортных контейнеров перегружают в контейнеры для захоронения. Последние представляют собой цилиндрические емкости, изготовленные из титана, с внешним диаметром около 630, высотой 2300 и толщиной стенки 4-6 мм. Емкости вмещают стальные барабаны с 72 топливными пучками CANDU. Пустоты между пучками с применением вибра-

ции заполняют стеклянными шариками. Затем крышки контейнеров вдавливают и замазывают клеящим составом, чем достигается полная герметизация емкости.

Проектируемый могильник имеет один горизонт на глубине 1000 м, занимает площадь 2×2 км и состоит из 8 панелей размером ~500×1000 м. Панели будут иметь по 60 камер захоронения длиной 220 м, на 240 контейнеров каждая.

Контейнеры захоронения предусматривается подавать в экранированных транспортных устройствах и опускать в вертикальные скважины (диаметр 1,2 и высота 5 м), расположенные тремя рядами в подошве камер по их длине. Спуск предполагается осуществлять на спрессованную бетонно-песчаную смесь. Свободное пространство над контейнерами заполняется смесью из равных долей бентонита и песка. После заполнения могильника его камеры, выработки и шахтные стволы должны быть герметично заложены.

Рассмотренные выше и другие, например Швейцарии, Финляндии, Франции, Бельгии, Италии, проекты захоронения ОЯТ и отходов его регенерации вышли на такую стадию освоения, когда поступление пробных партий радиоактивных материалов на «вечное захоронение» реально уже в первом десятилетии 21 в.

В России работы по созданию могильников ВАО в геологических формациях планируется начать после 2010 г. (Лапочкин). При сохранении нынешнего уровня атомной энергетики в ядерные могильники России ежегодно будет поступать 9,5 тыс. м³ отходов (6,5 тыс. — твердых, 3 тыс. — жидких).

Ряд специалистов считает, что захоронению ДАО в специально создаваемых пунктах глубокого заложения имеется альтернатива. Они полагают, что изоляция радиоактивных веществ возможна в подземных полостях, возникших при испытаниях ядерного оружия, исследовательских, а также других взрывах, осуществленных в интересах различных отраслей народного хозяйства. Эти полости представляют своеобразные пункты захоронения РАО, причем количество последних, включая долгоживущие α -излучающие радионуклиды, в них гораздо больше, чем предполагается разместить в специализированных хранилищах. И хотя только часть элементов полостей (Pu, Np, трансплутониевые и редкоземельные) «остеклована», включена в застывшую силикатную матрицу, а другая часть (триций, значительные доли Sr-90, Cs-137) находится в подвижной форме, пока нет данных об утечке радионуклидов из зон взрыва и их выходе на поверхность. В развитие этой технологии СССР в 1970-1984 гг. в соляных отложениях осуществил 25 подземных взрывов на глубинах 700-1500 м, приведших к образо-

ванию полостей объемом 30-70 тыс. м³ и более. Практически все они находятся в эксплуатации.

Идея использования ядерных взрывов для захоронения РАО положена в основу предложения Центрального физико-технического института Министерства обороны РФ и федерального ядерного центра «Арзамас-16». Предлагаемое место для захоронения — старые штольни центрального ядерного полигона архипелага Новая Земля. Проект получил официальную поддержку и планомерно разрабатывается. В соответствии с ним на Новой Земле не нужно строить специальный могильник, так как на полигоне для испытаний ядерного оружия (прекращены в 1975 г.) в достаточном количестве на глубине 600-700 м имеются заброшенные штольни. В них предлагается разместить отработанные твэлы АЭС, реакторы АПЛ, отходы ядерных предприятий, различные крупногабаритные загрязненные металлические конструкции и т.п. Пространство между ними намечается заполнить другими материалами, способными резко снизить потоки радиоактивного излучения. Ожидается, что при ядерном взрыве на поверхности штольни будет образовано стекловидное вещество, которое само по себе станет надежным барьером на пути распространения радионуклидов. По мнению разработчиков, проект является наиболее дешевым из известных. Он имеет ряд сторонников. Однако его противники утверждают, что реализация проекта приведет к тотальной экологической катастрофе на Новой Земле и прилегающих обширных территориях.

В последние годы появились проекты захоронения, предусматривающие вывод РАО в Космос — на околоземную или околосолнечную (в поле астероидов) орбиты, а также их удаление из Солнечной системы. Скорость перемещения РАО на околоземную орбиту должна составлять более 8-10 км/с, а в далекие области Солнечной системы — около 20 км/с. В качестве транспортного космического аппарата, в частности для особо опасных РАО, предполагается использовать двухступенчатую ракету-носитель «Энергия». Известен также проект вывода РАО в Космос электронной пушкой.

Размещение РАО в Космосе потребует разработки методов перевода их в твердое состояние и создания специальных контейнеров. Поскольку радиоактивные отходы выделяют тепло, то должен быть предусмотрен его отвод из контейнера. Для предотвращения столкновений с другими небесными предметами последнему необходим также управляющий радиомаяк, устойчиво работающий при повышенных температуре и давлении.

Однако в некоторых публикациях отмечается, что радиоактивные могильники-контейнеры будут засорять околоземное пространство с отрицательными последствиями для человечества. По этой же причине

нельзя засорять дальний Космос, Луну или обитаемые планеты (*Радиоактивные...*).

8.5. За и против атомной энергетики

Проблемы безопасного функционирования атомной энергетики, надёжной и долговременной изоляции РАО вызывают большой интерес, особенно после черновобильской трагедии. По этой животрепещущей теме высказываются средства массовой информации, выступают защитники окружающей среды, специалисты. Однако единства в их позициях нет, точки зрения участников дискуссии зачастую исключают друг друга.

Во многих публикациях, призывающих прекратить строительство АЭС и вывести из эксплуатации уже имеющиеся, постулируется невозможность надёжного изолирования РАО и подчеркивается, что их потенциальная опасность десятикратно превышает черновобильский выброс.

Неясно, по какому (открытому или закрытому) ядерному циклу пойдёт развитие атомной энергетики. В открытом цикле ОЯТ должны захоронять без его регенерации. Это резко увеличит объём отходов, приведёт к безвозвратным потерям недогоревшего первичного (уран) топлива, а также вторичного (плутоний), образующегося в реакторах при ядерных превращениях. Закрытый цикл предусматривает захоронение только ВАО регенерации ОЯТ, составляющих ~30% от исходного материала. Регенерированное топливо следует, казалось бы, направлять для получения урана и плутония, которые затем можно использовать для работы АЭС. Однако и этот путь в настоящее время экономически нецелесообразен. Отмечается (А.В.Яблоков), что уран для новых твэлов гораздо выгоднее извлекать непосредственно из руды.

Значительное количество высокообогащенного урана (около 1250 т в России), а также плутония получают при ликвидации ядерных боеголовок. При разбавлении уран можно использовать как топливо для АЭС (Яблоков), но этот путь экономически нецелесообразен. Что касается плутония, то авторитетнейшая «Рэнд корпорэйшн», научно-исследовательский центр ВВС США, считает, например, что в течение ближайших 50-100 лет его применение как топлива неэффективно.

Однако наработанные на АЭС материалы можно использовать в военных целях (Великобритания, Франция, Китай), в том числе для изготовления ядерных бомб. Последнее в 1970 г. показали США.

У ряда других специалистов иное мнение, хотя они согласны с тем, что уровень проработки некоторых вопросов, необходимых для лицензирования могильников ОЯТ или ВАО, недостаточен. Это, например, сроки коррозии контейнеров, поведение герметизированных материалов, перенос радионукли-

дов подземными водами. Не доведены также до уровня промышленной демонстрации различные методы контейнеризации, перемещения и захоронения тяжелых контейнеров в подземных условиях. Вместе с тем отмечается, что уже выполнен ряд оценок безопасного захоронения ОЯТ и ВАО в геологических формациях. Их результаты показывают, что долговременные риски можно снизить до весьма малых уровней. Привлекают неторопливость и высокая мера ответственности, проявляемые многими странами в вопросах обращения с РАО. Некоторые из них (США, Канада, Германия и др.) накопили уже 35-летний опыт в этой области. Однако окончательные решения не форсируются и будут приниматься по конкретным вариантам захоронения не ранее, чем в последующие 5-15 лет. Таким образом, мнение данной группы специалистов сводится к тому, что захоронение РАО — сложная, но разрешимая задача и для ее реализации сейчас нужны даже не столько дополнительные научные исследования, сколько выбор способа, наиболее приемлемого с экономической точки зрения.

Такая же поляризация существует во взглядах на демонтаж атомных электростанций, выработавших ресурс. Нередко утверждается, что решения безопасного демонтажа не найдены и каждая строящаяся АЭС грозит через несколько десятков лет превратиться в неразрешимую проблему. Уже отмечавшийся авторитетный и широко известный специалист, чл.-кор. АН России А.В.Яблоков писал в 1995 г., что никто не знает, как быть с огромным количеством радиоактивных материалов от разборки выведенных из эксплуатации атомных блоков и как вообще их разбирать. Он отмечал, что остановленные соответственно 14 лет и 4 года тому назад два реактора Белоярской АЭС с тех пор лишь потребляют энергию. Аналогичная ситуация на Ново-Воронежской АЭС, где блоки остановили 10 лет и 3 года назад по отношению к 1995 г.

Однако не менее авторитетный специалист в области захоронения РАО проф., докт. хим. наук А.С.Кривохатский еще ранее, в 1989 г., указывал, что демонтаж АЭС хотя пока и не рутинная, но вполне осуществимая операция, а выбор конкретного его варианта определяется в первую очередь лишь экономическими соображениями. Он отмечал, что в рассматриваемый момент в мире прекратили работу и находятся в разных стадиях демонтажа около 40 реакторных блоков. Четыре из них уже полностью обезврежены, доведены до состояния «зеленой лужайки», в одном (Шинон, Франция) разместился атомный музей.

Такая поляриность точек зрения на перспективы развития атомной энергетики сказалась и на позиции государств. Одни, подстегнутые чернобыльским опытом, заявили об отказе от программ развития атомной энергетики и закрытии всех АЭС по мере выработки их ресурса (Швеция, Германия). Другие всемерно развивают эту отрасль народного хозяйства, доведя выработку электроэнергии на АЭС до

77% общенациональной; располагают престижные жилые районы, имеющие ряд налоговых льгот, в 200 м от АЭС; широко открывают станции и демонстрируют их безопасность каждому заинтересованному гражданину страны (Франция).

Время многое расставит по своим местам и покажет, какая из этих позиций более верна. Однако и теперь очевидно, что ядерная безопасность страны есть функция ее экономического развития и культуры. В богатых процветающих странах проблемы экологической безопасности в целом и ядерной в частности не только привлекают внимание, но и получают должное финансовое обеспечение. Так, ежегодные затраты на охрану окружающей среды в США составляют около 300 млрд дол. (2,5% ВВП). Этого не могут позволить себе бедные страны. Россия, весь ВВП которой сопоставим с ВВП среднего североамериканского штата, выделяет на природоохранные цели не более 1 млрд дол./год. Такая бедная страна, обладающая ядерным оружием и АЭС, представляет чрезвычайную опасность и для самой себя, и для окружающего мира. В этом плане пример на все времена — трагедия Чернобыля.

Определение ПЗА по среднегодовым значениям метеорологических параметров

Потенциал загрязнения	Приземные инверсии			Повторяемость, %		Высота слоя перемены, км	Продолжительность тумана, ч
	Повторяемость, %	Мощность, км	Интенсивность, °С	Скорость ветра 0-1 м/сек	В том числе непрерывно подряд дней застоя воздуха		
Атмосферы (ПЗА)							
Низкий	20-30	0,3-0,4	2-3	10-20	5-10	0,7-0,8	80-350
Умеренный	30-40	0,4-0,5	3-5	20-30	7-12	0,8-1,0	100-550
Повышенный:							
континентальный	30-45	0,3-0,6	2-6	20-40	3-18	0,7-1,0	1 00-600
приморский	30-45	0,3-0,7	2-6	10-30	10-25	0,4-1,1	100-600
Высокий	40-60	0,3-0,7	3-6	30-60	10-30	0,7-1,6	50-200
Очень высокий	40-60	0,3-0,9	3-10	50-70	20-45	0,8-1,6	10-600
Примечание. Инверсия — возрастание температуры воздуха в атмосфере с высотой вместо обычного для тропосферы ее убывания (главным образом в антициклонах и в верхних слоях — из-за поглощения солнечной радиации)							

Основные сокращения

Авт.: Лотош В.Е.

АПЛ — атомная подводная лодка

АЭС — атомная электростанция

БП — бенз(а)пирен

БПК — биологическое потребление кислорода

БПК_{полн} — полное биологическое потребление кислорода

ВАО — высокоактивные отходы

ВВП — валовой внутренний продукт

ВДК — временно допустимая концентрация

ВМО — Всемирная метеорологическая организация

ВМФ — военно-морской флот

ВНП — валовой национальный продукт

ВОЗ — Всемирная организация здравоохранения

ВСВ — временно согласованный выброс

ВСС — временно согласованный сброс

ВСТ — «Водоснабжение и санитарная техника»

ГРЭС — государственная районная электростанция

ДАО — долгоживущие активные отходы

ДДТ — дихлорфенилтрихлорэтан

ДЛ₅₀ — доза (летальная) вещества, вызывающая гибель 50% животных при попадании его в организм

ДСД — допустимая суточная доза

ДСП — допустимое суточное поступление

ЕЭК — Европейская экономическая комиссия

ЖПХ — «Журнал прикладной химии»

ЖРО — жидкие радиоактивные отходы

ЖУП — жалюзийный пылеуловитель

ЖФХ — «Журнал физической химии»

ЗВ — загрязняющие вещества

ЗЧЭС — зона чрезвычайной экологической ситуации

ЗЭБ — зона экологического бедствия

Изв. АПЭ — «Известия Академии промышленной экологии»

ИИ — искусственный интеллект

Кн. 1 — Технологии основных производств в природопользовании

Кн. 3 — Экология природопользования

Кн. 4 — Экономика природопользования

КПД — коэффициент полезного действия

КС — «кипящий» слой

ЛОС — летучие органические соединения

ЛПВ — лимитирующий показатель вредности

МАГАТЭ — Международное агентство по атомной энергии

МСНС — Международный совет научных союзов

МСУ — мусоросжигающая установка

МУ — методические указания
МЭиМО — «Мировая экономика и международные отношения»
НАО — низкоактивные отходы
ОБУВ — ориентировочно безопасный уровень выбросов
ООС — охрана окружающей среды
ОС — окружающая среда
ОЭСР — Организация экономического сотрудничества и развития
ОЯТ — отработанное ядерное топливо
ПАВ — поверхностно-активное вещество
ПАУ — полихлорвиниловые ароматические углеводороды
ПВХ — поливинилхлорид
ПДВ — предельно допустимый выброс
ПДК — предельно допустимая концентрация веществ
ПДС — предельно допустимый сброс
ПДУ — предельно допустимый уровень физического воздействия
ПО — производственные/промышленные отходы
ППЭ — плотность потока энергии
Пробл. ОС и ПР — «Проблемы окружающей среды и природных ресурсов»
ПХБ — полихлорированные бифенилы
ПХЗ — показатель химического загрязнения
РАО — радиоактивные отходы
РО — реакторный отсек АПЛ
САО — среднеактивные отходы
СВ — сточные воды
СНиП — строительные нормы и правила
ТБО — твердые бытовые отходы
ТВЭЛ (твэл) — тепловыделяющий элемент
ТРО — твердые радиоактивные отходы
ТЭС — тепловая электростанция
ФАО — Комиссия ООН по продовольствию
ФПЗ — фильтр с плавающей загрузкой
ХПК — химическое потребление кислорода
ХФУ — хлорфторуглероды
ЭВР — «Экологический вестник России»
ЭКиП — «Экология и промышленность России»
ЭМИ — электромагнитное излучение
ЭМП — электромагнитное поле
ЭСиП — «Экологические системы и приборы»
ЮНЕП — специальный орган ООН по охране окружающей среды
(Unated Nations Environment Programme)
ЮНЕСКО — Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры
ЯЭУ — ядерная энергетическая установка
Ссылка курсивом — неперiodические издания

Литература

Непериодические издания

Абрамов Н.Н., Гениев Н.Н., Павлов В.И. Водоснабжение. — М.: Госстройархиздат, 1958. — 579 с.

Бабаджан А.А., Мальцев Б.В. Производство черновой меди. — Свердловск: Металлургиздат, 1961. — 352 с.

Бережной Н.Н., Булычев В.В., Костин А.И. Производство железорудных окатышей. — М.: Недра, 1977. — 240 с.

Блинные В.И. Зоология с основами экологии. — М.: Просвещение, 1990. — 224 с.

Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. — М.: Высш. шк., 1980. — 472 с.

Вальтер А.К., Залобовский И.И. Ядерная физика. — Харьков: Основа, 1991. — 480 с.

Ванюшкин Б.М. Очистка промышленных и коммунальных жидких отходов электронным пучком // Пробл. экополиса: Тез. докл. НТК, Барселона-Мадрид, 1998. — М., 1998. — С. 68-69.

Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. — М.: Наука, 1965. — 374 с.

Вихревые технологии в системах очистки уходящих газов / **А.П.Бурдуков, Н.П.Смирнов, А.Р.Дорохов, В.А.Зубков** // Новые технологии и техника в теплоэнергетике: В 2 ч. — Новосибирск, 1995. — Ч.1. — С. 102-111.

Влияние радиочастотных электромагнитных полей на репродуктивную функцию мужчин // **И.В. Сухова, А.А. Николаев, Д.Л. Луцкий, А.М. Махмудова** // Эколого-биол. проблемы бас. Касп. моря: М-алы 6 МНК. — Астрахань: Изд-во АГУ. — 2003. — С. 99-100.

Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий / **В.В.Абрамов, С.К.Абрамов, Е.Э.Аграноник** и др. — М.: Стройиздат, 1967. — 328 с.

Войткевич Г.В. Происхождение и химическая эволюция Земли. — М.: Наука, 1983. — 165 с.

Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества. — М.: Стройиздат, 1979. — 476 с.

Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. — М.: Химия, 1964. — 574 с.

Вредные вещества в промышленности / Под ред. **Н.В.Лазарева**. — Л.: Химия, 1987. — Т.1. — 592 с.; Т.2. — 624 с.; Т.3. — 608 с.

Вредные химические вещества / Под ред. **В.А.Филова**. — Л.: Химия, — Т.1. — 1988. — 511 с.; Т. 2. — 1989. — 592 с.

Временный классификатор токсичных промышленных отходов и методические рекомендации по определению класса токсичности промышленных отходов (№4286-87). — М., 1987.

Вронский В.А. Прикладная экология. — Ростов н/Д: Феникс, 1996. — 512 с.

- Вторичные материальные ресурсы черной металлургии: Справ.: В 2 т. / Под ред. **Л.А.Смирнова**. — М.: Экономика, 1986. — Т.2. — 344 с.
- Высочин В.И.** Диоксин и родственные соединения. — Новосибирск, 1989. — 153 с.
- Галевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я.** Экология и утилизация отходов в производстве алюминия. — Новосибирск: Наука, 1997. — 158 с.
- Гарин В.М., Кленова И.А., Колесников В.И.** Экология для технических вузов. — Ростов-на-Дону: Изд-во «Феникс», 2001. — 384 с.
- Геолого-гидрологическое картирование территории России для целей захоронения жидких промышленных отходов в глубокие водоносные комплексы, в масштабе 1:2500000 / **Н.Н.Егоров, В.И.Новоселова, Ю.С.Татарчук, Ю.К.Шипулин** // Радиоактивные отходы: оценка риска, минимизация образования, переработка и захоронение: Тез. докл. междунар. семинара. М., 1994. — С. 24.
- Гетманова Л.Д.** Учебник по логике. — М.: Владос, 1995. — 303 с.
- Гигиенические нормы инфразвука на рабочих местах (№2274-80).
- Гигиенические нормы «Ориентировочно безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест (ГН. 2.1.6. 1339-03).
- Гневшпев М.Н., Новикова К.Ф.** Влияние солнечной активности на биосферу Земли // Биосфера и ее ресурсы. — М.: Наука, 1971. — С. 237-252.
- Горшков В.А.** Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности. — М.: Недра, 1981. — 269 с.
- Горшков В.Г.** Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды // ВИНТИ. Итоги науки и техники. Сер. «Теорет. и общ. вопр. географии». — 1990. — Т.7. — 238 с.
- Горшков С.П.** Земельные ресурсы мира: антропогенные воздействия. — М.: Знание, 1987. — 48 с.
- ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасного излучения. — М., 1983.
- ГОСТ 12-1-001-83. Ультразвук. Общие требования безопасности. — М., 1983.
- Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации (2002, 2003, 2004 гг.)».
- Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и технологического характера (2002, 2003, 2004 гг.)».
- Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации (2002, 2003, 2004 гг.)».
- Груничев Н.С., Архипов Н.А.** Конъюнктура мирового рынка пылеулавливающего оборудования // Очистка воздуха и обезвреживание отходящих газов: Тез. докл. конф. — Пенза, 1991. — С.3.
- Гудериан Р.** Загрязнение воздушной среды: Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1975. — 415 с.
- Денисов Н.Я.** Инженерная геология. — М.: Госстройиздат, 1960. — 404 с.
- Дуосон Г., Мерсер Б.** Обезвреживание токсических отходов: Пер. с англ. — М.: Стройиздат, 1996. — 288 с.

- Дубищева Д.Я.** Концепции современного естествознания. — М.: ИКЦ «Маркетинг», Новосибирск: ООО «Изд-во ЮКЭА», 2001. — 832 с.
- Думанский Ю.Д., Карачев И.И., Бездольная И.С.** Проблемы гигиенической регламентации сочетанного действия ионизирующей радиации и электромагнитных излучений на АЭС и в местах их размещения // Итоги 8 лет работ по ликвидации последствий аварий на ЧАЭС: Тез. докл. 4-й Междун. науч.-техн. конф. — Зеленый мыс, 1994. — С. 246.
- Еремин О.Г.** Разработка и внедрение процессов утилизации отходящих газов металлургических производств // Энергосберегающие технологии в производстве тяжелых цветных металлов. — М.: ГосНИИцветмет, 1992. — С. 59-65.
- Жданов Л.С., Марандзян В.А.** Курс физики: В 2 ч. — М.: Госфизматиздат, 1971. — Ч. 2. — 608 с.
- Жилов Ю.Д., Куценко Г.И.** Справочник по медицине труда и экологии. — М.: Высш. шк., 1995. — 175 с.
- Жуков А.И., Монгайт И.А., Родзиллер И.Д.** Методы очистки производственных сточных вод. — М.: Стройиздат, 1977. — 204 с.
- Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А.** Физическая химия. — М.: Металлургия, 1976. — 543 с.
- Захаров П.С.** Эрозия почв и меры борьбы с ней. — М.: Колос, 1971.
- Защита атмосферы от промышленных загрязнений / Пер. с англ. под ред. **С.Калверта** и **Г.М.Инглунда**. — М.: Металлургия, 1988. — Т.1. — 760 с.; Т.2. — 711 с.
- Земледелие с почвоведением / **А.М.Лыков, А.А.Коротков, Г.И.Баздырев, А.Ф.Сафонов**. — М.: Агропромиздат, 1990. — 464 с.
- Зубов В.И.** Эволюция галактик. Апокалипсис // Процессы управления и устойчивость. — СПб: НИИ Химии СПбГУ, 1999. — 325 с.
- Зубрев Н.И., Байгулова Т.М., Зубрева Н.П.** Теория и практика защиты окружающей среды. — М.: Желдориздат, 2004. — 392 с.
- Зюлковский З.** Жидкостная экстракция в химической промышленности. — Л.: Госхимиздат, 1963. — 480 с.
- Инженерная экология / **В.Т. Медведев, В.В. Скибенко, А.К. Макаров** и др. — М.: Гардарики, 2002. — 687 с.
- Использование принципа биологической эквивалентности в токсикометрии продуктов горения материалов. // Современные методы определения пожаровзрывоопасных веществ и материалов. — М.: ВНИИ противопожарной обороны, 1991. — С. 95-104.
- Камшилов М.М.** Эволюция биосферы. — М., 1979. — 296 с.
- Канализация / **Э.Н.Шишкин, Я.А.Карелин, С.К.Колобанов** и др. — М.: Госстройиздат, 1951. — 632 с.
- Канализация населенных мест и промышленных предприятий / **А.А.Александровский, С.Н.Аронов, И.Д.Балмут** и др. — М.: Госстройиздат, 1963. — 456 с.
- Киевский М.И., Евстратов В.Н., Ратманов А.Г.** Безотходные технологические схемы химических производств. — Киев: Техніка, 1987. — 121 с.
- Киреев В.А.** Краткий курс физической химии. — М.: Химия, 1969. — 638 с.

- Кислотные выпадения (долговременные тенденции): Пер. с англ. — Л.: Гидрометеоздат, 1990. — 439 с.
- Кислотные дожди / Под ред. **Ю.А.Израэля**. — Л.: Гидрометеоздат, 1989. — 439 с.
- Кобрин В.С.** Муниципальные и промышленные отходы: способы обезвреживания и вторичной переработки: Аналит. обзор. // ГПНТБ (Новосибирск). 1995. Экол. вып. 19. — 155 с.
- Ковда В.А.** Биосфера и человечество // Биосфера и ее ресурсы. — М.: Наука, 1971. — С. 7-52.
- Кондратьев К.Я.** Глобальная экология и требования к данным наблюдений. — СПб.: Наука, 1992. — 92 с.
- Кондрашов А.** Справочник необходимых знаний. — М.: «Рипол классик», 2001. — 768 с.
- Кондрашов Н.Н., Аликина О.В., Чернышева С.В.** Обеззараживание атмосферного воздуха ультрафиолетовыми облучателями // Теорет. основы и практич. решения проблем санит. охр. атм. воздуха. — М.: МГУ, 2003. — С. 205-206.
- Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. — М.: Минприроды, 1992. — 58 с.
- Кротов Ю.А., Карелин А.О., Лойт А.О.** Предельно допустимые концентрации химических веществ. — СПб: Изд-во «Мир и семья», 2000. — 347 с.
- Кудинов К.Г., Сигаев Б.П., Рыбальченко А.И.** Научные и технические проблемы продления сроков эксплуатации полигона Северный // Исследования гранитоидов Нижнекамского массива для захоронения РАО. — СПб: Изд-во Горно-хим. комбинат, 1999. — С. 131-136.
- Куклев Ю.И.** Физическая экология. — М.: Высш. шк., 2003. — 357 с.
- Куражковский Ю.Н.** Очерки природопользования. — М.: Мысль, 1969. — 268 с.
- Кэй Дж., Лэби Т.** Таблицы физических и химических постоянных: Пер. с англ. — М.: Госфизматиздат, 1962. — 247 с.
- Лазарев М.И.** Океан-[http:// Cultinfo. Ru / fulltext / 1 / 001 / 008 / 083 / 906. htm](http://Cultinfo.Ru/fulltext/1/001/008/083/906.htm).
- Левин А.И.** Теоретические основы электрохимии. — М.: Госметаллургиздат, 1963. — 430 с.
- Лисин В.С., Юсфин Ю.С.** Ресурсно-экологические проблемы 21 в. и металлургия. — М.: Высш. шк., 1998. — 447 с.
- Лотош В.Е.** Природопользование (методологические основы). — Екатеринбург: УрГУПС, 2006 (2-ое изд.). — 159 с.
- Мазур И.И., Иванов О.П.** Опасные природные процессы. — М.: Экономика, 2004. — 702 с.
- Малый атлас мира. — М.: Геозидиздат, 1987. — 331 с.
- Марымов В.И.** Сточные воды на полях орошения. — М.: Колос, 1993. — 141 с.
- Методические указания по оценке опасности загрязнения почвы химическими веществами. — М., 1987.
- Моисеев Н.Н.** Человек и ноосфера. — М.: Молодая гвардия, 1990. — 352 с.

Молчанов В.В., Смоляков В.И. Опыт переработки жидких радиоактивных отходов первой в мире атомной электростанции // Радиоэкол. пробл. в ядерной энергии и при конверсии пр-ва: Докл. конф. — Обнинск: Физ.-техн. ин-т, 1994. — Ч. 1. — С. 259-263.

Морозов В.И. Загрязнения городских земель как источник вторичной эмиссии опасных поллютантов // Эколог. геология и радион. недропольз.: Мат-алы конф. — СПб: Изд-во СПбГУ, 2000. — С. 122-123.

Моше Д. Астрономия: Пер. с англ. — М.: Просвещение, 1985. — 255 с.

МУ 2.1.4.719.-98. Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения и технологией подготовки питьевой воды. — М.: Минздрав РФ, 1998.

МУ 2.1.5.732-99. Санитарно-эпидемиологический надзор за обеззараживанием сточных вод. — М.: Минздрав РФ, 1999.

Мусинова Н.А., Жуйкова Т.В., Тутубалина А.А. Содержание тяжелых металлов в растениях и грибах отвала горно-обогатительного комбината // Актуальные пробл. биол. и экологии: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2004. — Т.2. — С. 191-192.

Николаев Л.А., Тулупов В.А. Физическая химия. — М.: Высш. шк., 1967. — 465 с.

Новиков Ю.В. Охрана окружающей среды. — М.: Высш. шк., 1987. — 287 с.

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99).

Ньюмен А. Легкие нашей планеты (влажный тропический лес — наиболее угрожаемый биоценоз на Земле): Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 335 с.

Оборудование и сооружения для защиты биосферы от промышленных выбросов. — М.: Химия, 1985. — 325 с.

Одум Ю. Экология: В 2 т.: Пер. с англ. — М.: Мир, 1986. — 704 с.

Оптимизация, прогноз и охрана природной среды / Под ред. **В.М.Чупахина.** — М.: ГО СССР, 1986. — 417 с.

Опыт использования мембранных технологий для переработки радиоактивных отходов в МосНПО «Радон» / **Ю.В.Кармин, В.Ю.Чуйков, В.Н.Кропотов, И.А.Соболев** // Применение новейших мембр. технологий в пром-сти и экологии: Тез. докл. научн.-техн. семинара. — М., 1997. — С. 107-109.

Опыт эксплуатации промышленной электропечи ЭП-500 остекловывания жидких высокоактивных отходов и анализ систем технологического контроля / **Е.Г.Дзекун, Г.М.Медведев, В.А.Бельтюков** и др. // Обращение с радиоактив. отходами и обраб. ядер. материалов, их утилизация и захоронение: Тез. докл. междуна. конф. — Челябинск, 1997. — С. 47.

Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений (ОСП-72/87).

Основы металлургии: В 8 т. / Под ред. **Н.С.Грейвера** и др. — М.: Госметаллургиздат, 1961. — Т. 1. Ч. 2. — 780 с.; 1975. — Т.7. — 1008 с.

Охрана и рациональное использование окружающей среды / **Г.Д.Харлампович, В.Г.Березюк, И.Н.Лицунов** и др. — Екатеринбург: УрГУ, 1993. — 184 с.

Охрана ландшафтов: Толковый слов. — М.: Прогресс, 1982. — 271 с.

Охрана окружающей среды / **С.В.Белов, Ф.А.Барбинов, А.Ф.Козьяков** и др. — М.: Высш. шк., 1991. — 319 с.

Парниковый эффект, изменение климата и экосистемы / Пер. с англ. — Л.: Гидрометеоиздат, 1989. — 557 с.

Певзнер М.Е., Костовецкий В.П. Экология горного производства. — М.: Недра, 1990. — 235 с.

Переработка отходов в плазменной шахтной печи / **Ф.А. Лифанов, В.Н. Попков, М.А. Полканов** и др. // 1 Всер. молод. НК по фундам. пробл. радиоэ. и атомн. энергет.: Тез. докл. — Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2001. — С. 35-45.

Перес Ж. Жизнь в океане: Пер. с фр. — Л.: Гидрометеоиздат, 1969. — 287 с.

Перечень веществ, продуктов, производственных процессов и бытовых факторов, канцерогенных для человека. — М.: Минздрав СССР, 1991.

Платонов А.П., Платонов В.А. Основы общей и инженерной экологии. — Ростов-на-Дону: Изд-во «Феникс», 2002. — 352 с.

Подзорова Е.А. Повышение эффективности радиационного метода очистки сточных вод // Радиоэкол. пробл. ядерн. энерг. и при конверсии производства: Тез. докл. конф. — Обнинск, 1993. — С. 160.

Попельшева Н.В., Корнеев Г.В. Способ очистки отходящих газов на ОАО «КРАЗ» // 6 регион. научно-метод. конф.: Тез. докл. — Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2001. — С. 40.

Пособие по проектированию полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных отходов. — М.: Стройиздат, 1985. — 40 с.

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.1338-03). — М.: Минздрав РФ, 1998.

Предельное количество токсичных промышленных отходов, допускаемое для складирования в накопителях (на полигонах) твердых бытовых отходов: Нормат. док. / Минколхоз РСФСР. — М.: МЗ СССР, 1985.

Прикладная электрохимия / **Н.П. Федотьев, А.Ф. Алабышев, А.Л. Ротинян** и др. — Л.: Гостехиздат, 1962. — 639 с.

Природопользование / **Э.А. Арустамов, А.Е. Волощенко, Г.В. Гуськов** и др. — М.: Изд. дом «Дашков и К°», 1999. — 252 с.

Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. — М.: Финансы и статистика, 1999. — 672 с.

Путилов А.В., Капреев А.А., Петрухин Н.В. Охрана окружающей среды. — М.: Химия, 1991. — 224 с.

Путилов К.А. Курс физики. Т1. — М.: Госфизматиздат, 1962. — 560 с.

Радиоактивные отходы: экологические приемы и управление / **В.И. Булатов, Т.А. Калужная, Л.И. Кузубова, О.Л. Лаврик.** Новосибирск, 1997. — Ч. 1. — 105 с; 1998. — Ч. 2. — 229 с.

Радкевич В.А. Экология. — Минск: Высшейш. шк., 1997. — 159 с.

Рамад Ф. Основы прикладной экологии: Пер. с фр. — Л.: Гидрометеоиздат, 1981. — 544 с.

Рациональное использование водных ресурсов / **Ю.П. Беличенко, В.Г. Березюк, О.В. Дубровина, Н.В. Мишкевич.** — Свердловск: УрГУ, 1990. — 176 с.

Реймерс Н.Ф. Природопользование: Слов.-справ. — М.: Мысль, 1990. — 639 с.

- Реймерс Н.Ф.** Экологизация. — М.: Рос. открытый ун-т, 1992. — 121 с.
- Реймерс Н.Ф.** Экология. Теории, законы, правила, принципы. — М.: Россия молодая, 1994. — 367 с.
- Руденко К.Г., Калмыков А.В.** Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых. — М.: Недра, 1987. — 264 с.
- Санитарная очистка и уборка населенных мест: Справ. — М.: Стройиздат, 1990. — 413 с.
- Санитарные нормы вибрации в жилых домах (№1304-75). — М., 1975.
- Санитарные нормы вибрации рабочих мест (№3044-84). — М., 1984.
- Санитарные нормы допустимого шума в помещениях жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки (№3077-84). — М., 1984.
- Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве (СанПиН 42-128-4433-87). — М.: МЗ СССР, 1988.
- Санитарные нормы допустимых уровней шума на рабочих местах (№3223-85). — М., 1985.
- Санитарные нормы и правила 2.01.29-85 «Основные положения по составу проекта полигона по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов». — М., 1985.
- Санитарные нормы и правила 2.04.05-86 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». — М., 1986.
- Санитарные нормы и правила допустимых уровней инфразвука и низкочастотного шума на территории жилой застройки (№42-128-4948-89). — М., 1989.
- Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередач переменного тока промышленной частоты (№2971-84). — М., 1984.
- Санитарные нормы и правила при работе с машинами и оборудованием, создающими локальную вибрацию, передающуюся на руки работающих (№3041-84). — М., 1984.
- Санитарные нормы и правила при работе с оборудованием, создающим ультразвук, передаваемый локальным путем на руки работающих (№2282-80). — М., 1980.
- Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров (№2392-81 и 5804-91). — М., 1981; 1991.
- Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров (№5804-91). — М.: МИОТ, 1993.
- Санитарные правила №3183-84 «Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов». — М.: Минздрав СССР, 1985.
- Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест» (СанПиН 2.1.6. 1032-01).
- Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» (2.1.5-980-00).
- Санитарные правила и нормы «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения (СанПиН 2.1.4.027-95).

Санитарные правила и нормы «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (СанПиН 2.2.1/2.11.1200-03).

Санитарные правила и нормы «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона». — М., 1996.

Санитарные правила по определению класса опасности токсических отходов производства и потребления (СП 2.1.7.1386-03).

Свитцов А.А., Трусов Л.И. Мембранные методы в очистке и концентрировании жидких отходов // Применение новейших мембр. технологий в пром-сти и экологии: Тез. докл. науч.-техн. семинара. — М., 1997. — С. 81-85.

Сергин В.Я., Сергин С.Я. Системный анализ проблемы больших колебаний климата и оледенения Земли. — Л.: Гидрометеоиздат, 1978. — 346 с.

Скорчелетти В.В. Теоретическая электрохимия. — Л.: Госхимиздат, 1963. — 608 с.

Смирнов Д.Н., Генкин В.Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. — М.: Металлургия, 1989. — 224 с.

Сокращение выбросов оксидов азота в процессах термического обезвреживания ТБО / **О.Н. Кулиш, С.А. Кужеватов, О.В. Хлебническая** и др. // Междун. конгр. по управлению отходами Вэйст Тэк-2001: Тез. докл. — М.: СИБИКО Инт., 2001. — С. 107-108.

Стадницкий Г.В., Родионов А.И. Экология. — М.: Высш. шк., 1988. — 272 с.

Суворов А.В., Никольский А.Б. Общая химия. — СПб.: Химия, 1994. — 624 с.

Сывороткин В.Л. К вопросу о научной состоятельности Монреальского протокола // Система «Планета Земля». — М.: РОО «Гармония строения Земли и планет», 2002. — С. 303-316.

Танатарова К.Т. Очистка сточных вод в решении экологического кризиса // В кн.: Рациональное природопользование. Здоровье населения. — Пермь: Изд-во ПГУ, 2001. — С. 162-164.

Технические записки по проблемам воды: В 2 т. / **К. Барак, Ж. Бебен, Ж. Бернар** и др. — М.: Стройиздат, 1983.

Технология важнейших отраслей промышленности / **Р.Л. Владимирский, А.М. Гинберг, И.П. Дрякина** и др. — М.: Высш. шк., 1985. — 496 с.

Технология переработки илов открытых хранилищ радиоактивных отходов / **В.А. Белов, В.А. Матюха, Б.Р. Сафин** и др. // Радиоактивность и радиоактивн. элементы в среде обитания человека: Материалы междун. конф. — Томск, 1996. — С. 477-478.

Титов А.П., Кривега С.П., Беспаятнов Г.П. Обезвреживание промышленных отходов. — М.: Стройиздат, 1980. — 79 с.

Тишлер В. Сельскохозяйственная экология: Пер. с нем. — М.: Колос, 1971. — 455 с.

Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии / **К.А. Черепанов, Г.И. Чернышев, В.М. Динельт, Ю.И. Сухарев**. — М.: Металлургия, 1994. — 224 с.

Ужов В.Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. — М.: Госхимиздат, 1962. — 299 с.

Федеральный закон РФ №7-ФЗ (2002 г.) « Об охране окружающей природной среды».

- Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р.** Умирающие озера: Пер. с англ. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 279 с.
- Химические процессы в экосистемах северных морей / **Г.Г.Матишов, Д.Г.Павлова, Г.В.Ильин** и др. — Апатиты, 1997. — 404 с.
- Хомченко Г.П.** Химия. — М.: Высш. шк., 1981. — 176 с.
- Чертов А.Г.** Международная система единиц измерения. — М.: Росвузиздат, 1963. — 167 с.
- Чолаков В.** Нобелевские премии: ученые и открытия: Пер. с болг. — М.: Мир, 1987. — 368 с.
- Шаприцкий В.Н.** Разработка нормативов ПДВ для защиты атмосферы. — М.: Металлургия, 1990. — 416 с.
- Швейхгеймер М.-Г.А., Кобраков К.И.** Органическая химия. — М.: Высш. шк., 1994. — 543 с.
- Шкломанов И.А.** Исследование водных ресурсов суши: итоги, проблемы, перспективы. — Л.: Гидрометеиздат, 1988. — 152 с.
- Шилов И.А.** Экология. — М.: Высш. шк., 1997. — 512 с.
- Щербаков А.С.** Основы строительного дела. — М.: Высш. шк., 1994. — 399 с.
- Экологические аспекты экспертизы изобретений / **Н.Г.Рыбальский, О.Л.Жаке-тов, А.Е.Ульянова, Н.П.Щепелев.** — М.: ВНИПИ, 1989.
- Экологические основы рекультивации земель / Под ред. **Н.М.Черновой.** — М.: Наука, 1985. — 183 с.
- Экологические очерки о природе и человеке / Пер. с нем. под ред. **Б.Гржимека.** — М.: Прогресс, 1988. — 640 с.
- Экологическое страхование в газовой промышленности: информационные, методические и модельные аспекты / **В.В.Лесных, Е.Ю.Шингареева, Е.П.Владимирова** и др. — М.: Высш. шк., 1998. — 447 с.
- Энциклопедический словарь юного биолога / Сост. **М.Е.Аспиз.** — М.: Педагогика, 1986. — 352 с.
- Юсфин Ю.С., Леонтьев Л.И., Черноусов П.И.** Промышленность и окружающая среда. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. — 469 с.
- Ягодин Г.А., Раков Э.Г., Третьякова Л.Г.** Химия и химическая технология в решении глобальных проблем. — М.: Химия, 1988. — 186 с.
- Яковлев С.В., Воронов Ю.В.** Водоотведение и очистка сточных вод. — М.: изд-во Ассоциации строительных вузов, 2002. — 704 с.
- Bunge R., Bachman A., Ngo C.D.** Soil washing: mineral processing technology in environmental engineering // Proc. 19th Int. Miner. Process Congr., San Francisco, Calif, 4. — Littleton (Colo), 1995. — P. 125-129.
- Jt Int. Symp. Environ. Conseq. Hazard Waste Dispos: proc., V.1. — Stockholm, 1991.
- Laboratory and industrial research installations for electron beam flue gas treatment / **A.G.Chmielewski, E.Iller, Z.Zimek, J.Licki** // Appl. Isot and Radiat. Conserv. Environ.: Proc. Int. Symp., Karlstune, 9-13 March, 1992. — Vienna, 1992. — P. 81-82.

McGovern W.E., Kakaria V. The use of solvent extraction with propane for the treatment of contaminated soils and sludges // Amer. Int. Chem. Eng. Spring Nat. Meet, New Orleans, La, March 29 – Apr. 2, 1992: Extend. Abstr. – N. Y., 1992. – P. 27.

Mierzejewski. The treatment and disposal of waste-waters from flue gas desulfuration plant // Int. water Conf: Offic proc. 52nd Annu. meet., Pittsburgh, Pa, Oct. 20-24, 1990. – Pittsburgh (Pa), 1991. – P. 205-211.

Overview of Russian's system used for cleaning of cellulose pulpe industry waste waters // Envir. Conf., Thunder Bay, Oct. 26-28, 1993. – Montreal, 1993. – P. 127-131.

Proc. 27th intersoc. Energy Convers. Eng. Conf. «Technol. Energy Effic. 21 Century», San Diego, Calif., Aug. 3-7, 1992: JECEC-92. – V.5. – Varendala (Pa), 1992. – P. 353-358.

Proc. Int. Top Meet. Nucl. and Hasard Waste Manag.: Spectrum'96, Siattle, Wash., Aug. 18-23, 1996. V.2. – La Grange Park (III), 1996. – P. 1425-1430.

Select. Proc. 5th Int. Conf. Wetland System Water Pollut. Control. – Vienna, 1996.

Singh N.P., Wronn Mc.E. The biological aspects and Radiat. Chem. // Int. Symp. Radiochem. and Radiat. chem. (plutonium – 50 years), Bombay, Febr. 4-7, 1991: Prepr. vol. – Bombay, 1991. – P. II 24/1 – II 24/8.

Smilkov S.P., Hristova B.A. Adwanced technologies for industrial fume gases treatment // 1-я Балканская конф. по металлургии, Варна, 28-30.05.96: Докл. – Т.3. – София, 1996. – С. 265-270.

Tech. Pap. Present 3rd Int. Conf., Nagpur, 1995. – V.1. – Bombay, 1995.

Therashima Y., Ozaki H. Utilisation of microorganisms immobilised with magnetic particles for waste wate treatment // Res. Activ., Civ. Eng. And Relat. Field Kyoto Unives. – 1989-1991. – Kyoto, 1993. – P. 193.

Периодические издания

Глава первая

Абрамсон И.Г., Бернштейн Л.Г. Глобальные экологические проблемы тепловой электроэнергетики и цементного производства // ЭКИП России. – 2005. – Июль. – 29-31.

Авербух В., Владимиров Д., Пунанов Г. Ядовитый пляж // Известия. – 2000. – №71.

Андрюков В.П., Пудовкина И.П. Уровни загрязнения воздуха городов системы глобального мониторинга окружающей среды в сравнении с критическими значениями загрязнения воздуха // Метеорология и гидрология. – 1992. – №7. – С. 116-120.

Аронский С.С., Губская Е.С. Нейтрализация, очистка, регенерация и утилизация хромсодержащих гальваностокков // Экотехнология и ресурсосбережение. – 1996. – №3. – С. 21-23.

Брагина Е., Гумен Р. Мировая промышленность: статика и динамика // МЭиМО. – 1995. – №5. – С. 131-139.

- Брандт Э.** Конец эры хлорфторуглеродов // Хим. технология. — 1991. — №11. — С. 12-14.
- Будыко М.И., Ефимова Н.А., Локшина И.Ю.** Ожидаемые антропогенные изменения глобального климата // Изв. АН СССР. Сер. география. — 1989. — №5. — С. 45-55.
- Велецкий Р.К.** Научно-технический прогресс охраны окружающей среды в черной металлургии // Сталь. — 1992. — №4. — С. 84-86.
- Вилькович Р.В., Вакур Н.Г., Федюнин В.Н.** Концепция социально-экологического ведения кладбищенского хозяйствования в Московской области // Пробл. ОС и ПР. — 1997. — №5. — С. 51-107.
- Вронский В.А.** Антропогенное загрязнение атмосферы и растения // Биология в шк. — 1992. — №3-4. — С. 7-11.
- Вронский В.А.** Круговорот веществ в биосфере: экологический аспект // Биология в шк. — 1991 (6). — №3. — С. 7-14.
- Вронский В.А.** Экологические последствия загрязнения атмосферы // География в шк. — 1991 (а). — №2. — С. 9-13.
- Вронский В.А.** Экологические последствия парникового эффекта // Биология в шк. — 1993. — №3. — С. 15-17.
- Вронский В.А.** Экологические проблемы южных морей России // Биология в шк. — 1995. — №3. — С. 10-14.
- Глобальные экологические проблемы после Рио-92 и Рио+5: итоги и перспективы // Пробл. ОС и ПР. — 1998. — №8. — С. 23-100.
- Голицын Г.С.** Парниковый эффект и изменения климата // Природа. — 1990. — №7. — С. 17-24.
- Голи Ф., Хэдди М.** Тропический лес: сила и слабость // Курьер ЮНЕСКО. — 1981. — №5. — С. 13-18.
- Гордин И.В.** Современная динамика загрязнения окружающей среды // Экон. природопольз. — 2003. — №2. — С. 59-69.
- Горский Ю.М.** Основы гомеостатики // Пробл. ОС и ПР. — 2000. — №5. — 153 с.
- Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2004 г. // ЭВР. — 2006. — №1-6.
- Гусев А.А.** Экономико-правовые особенности природопользования в устойчивом развитии // Экон. природопольз. — 1997. — №4. — С. 2-18.
- Джангиров Д.А.** Об основных направлениях совершенствования мониторинга загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных вод и почв в районах размещения объектов по обращению с отходами // Пробл. ОС и ПР. — 2004. — №3. — С. 23-30.
- Довгуша В.В., Тихонов М.Н.** Социально-экологические последствия войн // Экология пром. пр-ва. — 1995. — №1. — С. 11-22.
- Жадан Е.А.** Разрушение озонового слоя — что дальше? // ЭЖиП России. — 2000. — Август. — С. 4-7.
- Зайденварг В.Е., Айруни А.Т.** Роль добычи угля в глобальном загрязнении биосферы метаном // Уголь. — 1993. — №1. — С. 6-10.

- Иванов А.И.** О глобальном похолодании климата Земли // Пробл. ОС и ПР. — 2005. — №1. — С. 26-29.
- Изменения климата // Пробл. ОС и ПР. — 1996. — №6. — С. 1-23.
- Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Панов Г.В.** Об экологической ситуации в морях России // Метеорология и гидрология. — 1993. — №8. — С. 15-21.
- К проблеме последствий парникового эффекта: прогнозы и реальность / **А.Л.Яншин, С.Н.Жидовинов, А.А.Величко, В.С.Чесноков** // Изв. РАН. Сер. геогр. — 1994. — №3. — С. 5-13.
- Как восстановить озоновый слой Земли / **А.М.Старик, О.Н.Фаворский, О.С.Хабаров, Б.Н.Амелин** // Вестн. РАН. — 1993. — №12. — С. 1082-1089.
- Калядин А.** Россия и международный режим химического разоружения // МЭиМО. — 2000. — №3. — С. 27-37.
- Кароль И.Л.** Настоящее и будущее атмосферного озона // Природа. — 1988. — №9. — С. 10-19.
- Кобак К.И., Кондрашева Б.Ю.** Изменения локализации природных зон при глобальном потеплении // Экология. — 1992. — №3. — С. 9-18.
- Кобасов О.С.** Конференция ООН по окружающей среде и развитию // Изв. РАН. Сер. география. — 1992. — №6. — С. 47-54.
- Ковалев Е.** Зловещее предсказание Т.Р. Мальтуса // МЭ и МО. — 2004. — №1. — С. 34-42.
- Ковалевич О.М., Лелеков В.И.** Некоторые условия устойчивого развития ядерной энергетики России // Изв. АПЭ. — 2003. — №4. — С. 11-16.
- Кондратьев К.Я.** Новые оценки глобальных изменений климата // Изв. ВГО. — 1990. — Т. 122. — №6. — С. 500-506.
- Кондратьев К.Я., Демирчан К.С.** Глобальный климат и протокол Киото // Пробл. ОС и ПР. — 2001. — №6. — С. 2-15.
- Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Потапов И.И.** Состояние, проблемы и перспективы изучения глобального круговорота углерода // Пробл. ОС и ПР. — 2004. — №7. — С. 17-32.
- Кондратьев К.Я., Поздняков Д.В.** Экология Великих североамериканских озер: проблемы, решения, перспективы // Водн. ресурсы. — 1993. — Т. 20. — №1. — С. 113-122.
- Концепция перехода Российской Федерации к устойчивому развитию // Пробл. ОС и ПР. — 1996. — №9. — С.3-11.
- Кораблева А.И.** Оценка загрязнения водных экосистем тяжелыми металлами // Водн. ресурсы. — 1991. — №2. — С. 105-111.
- Крапивин В.Ф. Биосферный баланс кислорода и его моделирование // Пробл. ОС и ПР. — 2000. — №10. — С. 15-25.
- Крапивин В.Ф.** Парниковый эффект и глобальный биогеохимический цикл углекислого газа // Пробл. ОС и ПР. — 1992. — №12. — С. 2-16.
- Крейнин Е.В.** Парниковый эффект: причины, прогнозы, рекомендации // ЭКИП России. — 2005. — Июль. — 18-23.
- Крючков В.В.** Предельные антропогенные нагрузки и состояние экосистем Севера // Экология. — 1991. — №3. — С. 28-40.

- Кучеренко В.А.** Проблемы уменьшения выбросов фреонов в атмосферу // Экология пром. пр-ва. — 1995. — №2. — С. 40-43.
- Ланли Ж., Сингх К., Янз К.** ФАО: повторная (1990 г.) оценка состояния тропических лесов // Природа и ресурсы. — 1991. — Т. 27. — №3-4. — С. 24-30.
- Ларин И.К.** Атмосферный озон как фактор глобальной экологии и проблемы его сохранения // Изв. РАН. Энергетика. — 1996. — №6. — С. 6-23, 24-29.
- Лед наступает и отступает // Известия. — 2003. — №36.
- Лопатин В.Ф.** Международное сотрудничество в области защиты окружающей среды // Экология пром. пр-ва. — 1996. — №1. — С. 3-11.
- Лосев К.С.** Экология России в конце XX века // Изв. РГО. — 1992. — Т. 124. — №1. — С. 3-7.
- Лось В.А.** Кассандра XX века (к 25-летию Римского клуба) // Вестн. РАН. — 1994. — Т. 64. — №9. — С. 855-859.
- Лотош В.Е.** Антиантропные сценарии, направления и условия реализации концепции устойчивого развития // Экон. природопольз. — 2001. — №2. — С. 2-14.
- Лотош В.Е.** Леса и биосферный баланс кислорода // Пробл. ОС и ПР. — 2006. — №5. — С.91-95.
- Лотош В.Е.** О понятии «экология» и ее структуре // Пробл. ОС и ПР. — 2000. — №9. — 27-32.
- Лотош В.Е.** О понятии «экология» и ее структуре // ЭСиП. — 2001. — С. 54-56.
- Лотош В.Е.** Принцип Ле Шателье и устойчивость континентальных экосистем // Пробл. ОС и ПР. — 2001. — №4. — С. 29-35.
- Лотош В.Е.** Принцип Ле Шателье и устойчивость континентальных экосистем // ЭСиП. — 2001. — №9. — С. 22-25.
- Лотош В.Е.** Торговля загрязнениями, парниковый эффект и Россия // Экон. природопольз. — 2005. — №6. — С. 10-17.
- Лотош В.Е.** Человечество не причастно к повышению уровня Мирового океана // Пробл. ОС и ПР. — 2006. — №3. — С. 3-8.
- Луначев Ю.В.** Средний уровень мирового океана — индикатор климатических и экологических изменений // ЭСиП. — 2005. — №7. — С. 23-26.
- Максимова М.** В 21 в. — со старыми и новыми глобальными проблемами // МЭиМО. — 1998. — №10. — С. 5-22.
- Макшеев В.П.** Задачи сохранения природной среды на современном этапе развития горно-металлургических комплексов // Metallург. — 1995. — №2. — С.14-17.
- Малышева А.Г.** Неучтенная опасность воздействия химических веществ на здоровье человека // Гиг. и санит. — 2003. — №6. — С. 34-36.
- Об основных этапах развития гигиены и экологии / **П.Г. Ткачев, А.А. Ляпкало, И.П. Льгова, В.М. Рябчиков** // Гиг. и санит. — 2003. — №2. — С. 6-8.
- Определение опасности предприятия и ширины его санитарно-защитной зоны с помощью монограммы / **М.А. Пинигин, Л.А. Типукина, О.В. Бударина и др.** // Гиг. и санит. — 2005. — №6. — С. 19-20.
- Осипов А.А.** Загрязнение нефтепродуктами акватории и донных отложений Азовского моря // Пробл. ОС и ПР. — 2005. — №6. — С. 60-63.

- Парниковые газы ни в чем не виноваты // Известия. — 2004. — №133.
- Пименова Г.С.** О роли зеленых насаждений // Биология в шк. — 1994. — №3. — С. 18-20.
- Писаренко А.И.** Глобальная деградация лесов и проблемы лесного хозяйства // Лесн. хоз-во. — 1989. — №10. — С. 5-10.
- Попов К.П., Сейфуллин Э.М.** Растения, порожденные пустыней // Природа. — 1994. — №6. — С. 42-44.
- Промышленные предприятия России, оказывающие наибольшее негативное воздействие на состояние природной среды / **А.А.Шеховцев, С.Г.Чижов, В.И.Звонов** и др. // Пробл. ОС и ПР. — 1994. — №8. — С. 1-23.
- Пшенин В.Н.** Экологические последствия деятельности мирового танкерного флота // География в шк. — 1995. — №3. — С. 17-20.
- Пью Д.** Изменения уровня моря и их возможные последствия // Природа и ресурсы. — 1994. — №1-2. — С. 36-37.
- Районирование территории России по степени экологической напряженности / **Б.И.Кочуров, А.В.Антинова** и др. // Изв. РАН. Сер. география. — 1994. — №1. — С. 119-125.
- Распопов И.М.** Особенности зарастания больших озер при усилении антропогенного пресса // Водн. ресурсы. — 1992. — №2. — С. 100-105.
- Ревич Б.А.** Здоровье городских жителей // Природа. — 1993. — №2. — С. 24-29.
- Розовский А.Я.** Физико-химические аспекты утилизации CO₂ // ЖФХ. — 1996. — №2. — С. 199-207.
- Роль микроорганизмов, растений и животных в биологическом круговороте наземных систем / **А.Д.Покаржевский, Н.С.Паников** и др. // Докл. РАН. — 1992. — Т. 322. — №4. — С. 809-812.
- Рябчиков А.М.** Тревожные антропогенные изменения природной среды // Вестн. МГУ. Сер. география. — 1990. — №2. — С. 3-13.
- Сидельникова Л.И., Цветкова М.Р.** Концептуальные подходы к решению проблем промышленной экологии // Экология пром. пр-ва. — 1994. — №4. — С. 3-6.
- Сиротенко О.Л., Павлова В.Н.** Парниковый эффект и продовольственная проблема России // Метеорология и гидрология. — 1994. — №7. — С. 5-16.
- Слепян Э.И., Блотнер Б.А., Шейнерман Н.А.** Химическое загрязнение древесины — новая проблема экологии, здравоохранения и производства // Жизнь и безопасность. — 1996. — №3. — С. 333-337.
- Современное состояние экологических проблем Дагестана и Каспийского моря / **Р.М. Гуссейнов, Ш.И. Исмаилов, М.Р. Кариров** и др. // Инж. экология. — 2005. — №4. — С. 3-10.
- Стахорский В.С., Малышев В.А.** Водород — экологически чистый источник энергии будущего // Экология пром. пр-ва. — 1994. — №2. — С. 43-45.
- Стейнбек М.** Технология конверсии биомассы «ХАЙД—РОКАРБ» для поглощения атмосферного углекислого газа // Рос. хим. ж. — 1993. — №2. — С. 63-65.
- Тереженко Г.Ф.** Проблемы снижения экологического прессинга химических производств // ЖПХ. — 1994. — №1. — С. 7-13.

Технические средства экомониторинга: инструментальные средства измерения поверхностного волнения в океанах и морях / **В.М.Заферман, Н.А.Малыхин, В.Д.Шувалов, Н.Г.Смыгалин** // Научн. и техн. асп. ООС. — 1997. — №6. — С. 2-7.

Тимашев С.Ф., Перов С.П., Гутман Э.Е. Проблемы физико-химии озонового слоя Земли // ЖФХ. — 1994. — №8. — С. 1360-1372.

Топливо-энергетический комплекс России: экологические оценки и проблемы / **А.А.Шеховцев, В.И.Звонов, С.Г.Чижов, Н.Г.Веселова** // Пробл. ОС и ПР. — 1994. — №3. — С. 2-28.

Тяжелые металлы: дальний перенос в атмосфере и выпадение с осадками // Метеорология и гидрология. — 1994. — №10. — С. 5-14.

Урсул А.Д. Концепция устойчивого развития как основа процессов управления // Пробл. ОС и ПР. — 1996. — №4. — С. 14-27.

Хиллебрандт М. Устойчивое развитие — приоритет 21 в. // Экон. природопольз. — 1999. — №1. — С. 4-8.

Шеховцев А.А. Экологическая обстановка в Азовском море // Метеорология и гидрология. — 1990. — №11. — С. 115-117.

Шеховцев А.А., Звонов В.И. Города Российской Федерации, отличающиеся высоким уровнем антропогенной нагрузки // Метеорология и гидрология. — 1993. — №1. — С. 108-115.

Шмелев Н.П. Экономические перспективы России // Вестн. РАН. — 1995. — Т. 65. — №4. — С. 295-299.

Яблоков А.В. Экологические проблемы: острота ситуаций // Биология в шк. — 1989. — №3. — С. 5-10.

A watery grave for CO₂ // Chem. Brit. — 1996. — №9. — P. 9.

Bakterien produzieren magnetisches Elsen // Galvanotechnik. — 1997. — 88. — №12. — S. 4109.

Berner U., Stahl W. Geowissenschaft und Klima // Zement-kalk-Gips int. — 1999. — 52. — №1. — S. 28-29, 34-37.

Chemical and Engineering News. — 1994. — 72. — P. 30.

Cottril K. Compliance demands fuel clean air actions // Int. bulk j. — 1994. — 14. — №6. — P. 30.

Deutschland tragt die Hauptlast in der EU // Galvanotechnik. — 1999. — 90. — №3. — S. 838.

Frobese R. Уменьшение эмиссий CO₂ в глобальном масштабе // Bild wiss. — 1995. — №5. — P. 92-93.

Nouveaux progres de l'industrie Chimique en matiere de protection de l'environnement // Chim. nouv. — 1999. — 17. — №67. — P. 2068-2069.

Reeves S. The coal-seq project // Greenhouse Issue. — 2002. — №59. — С. 5-6.

Tomikava F., Lijima M. Process for the disposal of carbon dioxide // Pat. 5405595 (USA). Priority 22.06.1990.

Глава вторая

Антипов Н.И., Васильева Л.Н. О классах токсичности и степени опасности мышьякосодержащих промышленных отходов // Цв. металлы. — 1992. — №3. — С. 9-11.

Антропогенная нагрузка на урбанизированной территории и здоровье населения / **И.Л.Винокур, Р.С.Гильденскиолд, Г.В.Гуськов** и др. // Гиг. и санит. — 1997. — №6. — С. 49-52.

Бензол как канцерогенный загрязнитель воздуха: обзор / **Е.В.Печеникова, В.В.Вашкова, Е.А.Можаев, Е.Г.Рогова** // Гиг. и санит. — 1997. — №5. — С. 43-46.

Булгаков Н.Г. Контроль природной среды как совокупность методов биоиндикации, экологической диагностики и нормирования // Пробл. ОС и ПР. — 2003. — №4. — С. 33-70.

Бухарин С.Н., Глушков А.Г. Методика комплексной оценки экологической обстановки и эффективности экономического менеджмента в регионе // ЭВР. — 2005. — №8. — С. 50-59.

Егорова И.П., Масляева Г.В., Роменская Л.В. Содержание радона в воздухе жилых помещений и заболеваемость злокачественными новообразованиями органов дыхания // Гиг. и санит. — 1997. — №6. — С. 59-60.

Еланский Г.Н., Медведев М.Н. Диоксины — экологическая опасность // Сталь. — 2000. — №2. — С. 82-86.

Ефремова Т.Т., Ефремов С.П., Мелентьева Н.В. Азот в болотах России // Почвоведение. — 2000. — №9. — С. 1070-1082.

Жолдакова Э.И., Красовский Г.Н., Синицина О.О. Оценка опасности загрязнения водных объектов химическими веществами для здоровья населения // Гиг. и санит. — 1999. — №6. — С. 53-57.

К проблеме загрязнения природной среды бенз(а)пиреном / **Ю.А.Израэль, В.Н.Василенко, И.Ф.Дликман** и др. // Метеорология и гидрология. — 1992. — №9. — С. 36-43.

Крапивин В.Ф. Парниковый эффект и глобальный биогеохимический цикл углекислого газа // Пробл. ОС и ПР. — 1999. — №2. — С. 2-16.

Красовский Г.Н., Егорова Н.А. Гармонизация гигиенических нормативов с зарубежными требованиями к качеству питьевой воды // Гиг. и санит. — 2005. — №2. — С. 10-13.

Красовский Г.Н., Егорова Н.А. Гигиенические и экологические критерии вредности в области охраны водных объектов // Гиг. и санит. — 2000. — №6. — С. 14-17.

Красовский Г.Н., Егорова Н.А. Недостатки биотестирования при гигиенической оценке сточных вод // Гиг. и санит. — 2005. — №3. — С. 10-13.

Лейкин Ю.А., Черкасова Т.А. Применение эколого-экономических критериев для оценки технологий получения ионитов // Хим. пром-сть. — 1994. — №6. — С. 52-56.

Лотош В.Е. Единица ПДК как универсальный инструмент оценки суммарного загрязнения окружающей среды // Экол. экспертиза. — 2005. — №2. — С. 2-14.

Лотош В.Е. О видах воздействия на окружающую среду и их отражении в законодательстве // Экол. экспертиза. — 2002. — №6. — С. 13-21; Пробл. ОС и ПР. — 2003. — №4. — С. 24-32.

Мальшева А.Г. Неучтенная опасность воздействия химических веществ на здоровье человека // Гиг. и санит. — 2003. — №6. — С. 34-36.

Назирова Р.А., Коваленко В.В., Кудряков А.И. Радиационный фон помещений в зданиях различного исполнения // Изв. вуз. Стр.-во. — 1999. — №6. — С. 126-129.

Небера В.П. Сорбционно-бисорбционные и другие методы извлечения металлов из сбросных растворов и очистки растворов // Научн. и техн. асп. ООС. — 2003. — №4. — С. 73-86.

Новиков Ю.В., Минин Г.Д., Сайфутдинов М.М. Диоксины в окружающей среде // Вестн. Рос. АМН. — 1995. — №3. — С. 20-25.

Нормативы содержания химических веществ в воде, мг/л // ЭВР. — 2002. — №1. — Прил. 4.

О влиянии радона на развитие злокачественных новообразований легких у жителей Свердловской области // **В.Л.Лежнин, Б.И.Никонов, Е.В.Ползик** и др. // Гиг. и санит. — 1994. — №4. — С. 49-53.

Онищенко Г.Г. Влияние состояния окружающей среды на здоровье населения. Нерешенные проблемы и задачи // Гиг. и санит. — 2003. — №1. — С. 3-10.

Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах // Токсикол. вестн. — 1995. — №2. — С. 38.

Ориентировочное определение класса опасности промышленных твердых отходов расчетным методом / **Г.И.Сидоренко, В.М.Перельгин, Н.И.Тонкопий, В.М.Павлов** // Гиг. и санит. — 1983. — №1. — С. 5-7.

Пинигин М.А. Теория и практика оценки комбинированного действия химического загрязнения атмосферного воздуха // Гиг. и санит. — 2001. — №1. — С. 9-13.

Полициклические ароматические углеводороды в окружающей среде: источники, профили и маршруты превращения / **А.Р.Суздорф, С.В.Морозов, Л.И.Кузубова** и др. // Химия в интер. уст. разв. — 1994. — №2-3. — С. 511-540.

Ровинский Ф.Я. Фоновое загрязнение природных сред на территории Евразии (1990 г.) // Пробл. ОС и ПР. — 1994. — №1. — С. 59-70.

Румянцев Г.И., Новиков С.М. Проблемы прогнозирования токсичности и риска воздействия химических веществ на здоровье населения // Гиг. и санит. — 1997. — №6. — С. 13-18.

Русаков Н.В. Гигиенические принципы оценки промышленных отходов в целях картографирования // Гиг. и санит. — 1993. — №7. — С. 3-10.

Саламов А.А. Опыт некоторых энергетических компаний США и центральной Европы по защите окружающей среды // Теплоэнергетика. — 2002. — №2. — С. 76-78.

Саркисов П.Д. Проблемы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии // Хим. пром-сть. — 2000. — №1. — С. 20-27.

Сидоренко Г.И., Вашкова В.В., Можаяв Е.А. Атомные объемы химических элементов как показатели их острой токсичности // Гиг. и санит. — 1999. — №2. — С. 50-51.

Сидоренко Г.И., Печенникова Е.В., Можаяв Е.А. Изучение аллергенных факторов окружающей среды: обзор // Гиг. и санит. — 1997. — №3. — С. 49-52.

Снакин В.В. Загрязнение окружающей среды свинцом в Российской Федерации: источники и последствия // Пробл. ОС и ПР. — 1998. — №11. — С. 19-31.

Соловьянов А.А. Стойкие органические загрязнители и Стокгольмская конвенция // Защита ОС в нефтегаз. комплексе. — 2005. — №3. — С. 21-26.

Строение и свойства диоксинов / **В.А.Хазипов, Л.Я.Галушко, Л.В.Пащенко** и др. // Хим. тв. топлива. — 1995. — №4. — С. 62-72.

Титова Е.Н. Свинец // Экология. Безопасность. Жизнь. — 1998. — №13. — С. 198-202.

Тихомиров Н.П., Телентинов В.Е. Экологическое нормирование и организация природоохранной деятельности на территории военных объектов // Пробл. ОС и ПР. — 1999. — №2. — С. 2-70.

Харлампович Г.Д., Васева Т.В. Эколого-экономический анализ в полном жизненном цикле // Хим. пром-сть. — 1997. — №5. — С. 42-47.

Чухловина М.Л. Медико-гигиенические аспекты нейротоксичности таллия // Гиг. и санит. — 1999. — №4. — С. 38-41.

Шламы системы газоочистки производства алюминия. 1. Состав органической составляющей шламов и оценка их экологической опасности / **А.Р.Суздорф, Л.И.Куртеева, Г.И.Сухова** и др. // Хим. в интгр. уст. разв. — 1996. — №1. — С. 55-60.

Экологическая обстановка в городе Перми и его окрестностях // ЭВР. — 2005. — №12. — С. 47-54.

Brown D.S. Constructed wetlands in USA // Water Qual. Int. — 1994. — №4. — P. 24-28.

Lead exposure and hearing effect in children in Catowice, Poland / **K.Osman, K.Pawlas, A.Schutz**, etc. // Envir. Res. A. — 1999. — 80. — №1 — P. 1-8.

McGrath S.P., Shaudri A.M., Giller K.E. Long-term effects in sewage sludge on soils, microorganisms and plants // Ind. Microbiol. — 1995. — 14. — №2. — P. 94-104.

Richter S., Detzel A. Minderung des Umwelteintrags von persistenten organischen Schadstoffen (POPs) // Entsorg. Prax. — 1999. — 17. — №3. — S. 47-51.

Rigo H.G., Chandler A.J. Is there a strong dioxin: chlorine link in commercial scale systems? // Chemosphere. — 1998. — 37. — 9-12. — P. 2031-2046.

Sinter gets dioxin audit // Steel Times. — 1995. — 223. — №6. — P. 208.

Toxic chemicals consigned to bin // Chem. and Ind. — 1998. — №13. — P. 506.

Wolf M. What should you know about nickel allergy // Steel Times. — 1996. — №8. — P. 265, 266.

Глава третья

Агафонов В.В., Грибанов А.В., Колмогорцева А.Г. Очистка отходящих газов на Уральском алюминиевом заводе // Цв. металлы. — 1999. — №8. — С. 36-37.

Акуров С.А. Влияние паров воды на адсорбцию диоксида серы углеродными адсорбентами // ЖФХ. — 1995. — №7. — С. 1251-1255.

Беликов С.Е., Котлер В.Р. Различные схемы ступенчатого сжигания как средство снижения выбросов оксидов азота // Изв. АПЭ. — 2005. — №2. — С. 57-59.

Бродский А. Об очистке сточных вод после установок обессеривания дымовых газов мокрым методом с применением известняка // Энергетик. — 1993. — №8. — С. 9-12.

Геберт В., Штегер П.Л., Гоулд Л.П. Комплексные решения по экологии улучшают работу и повышают доходность предприятий // Сталь. — 1999. — №9. — С. 74-78.

Гречко А.В. Об уменьшении выбросов оксидов азота в атмосферу при сжигании топлива // Пром. энергетика. — 1999. — №6. — С. 45-48.

Громов А.П. Комбинированная технология переработки попутного сероводорода // ЭКип России. — 2003. — Июль. — С. 33-34.

Заявка 4104380 ФРГ от 8.02.91. Оpubл. 13.08.92.

Заявка 4104873 ФРГ от 18.02.91. Оpubл. 20.08.92.

Использование СНКВ-технологии для снижения выбросов NO_x котельными установками / **Ю.С. Ходаков, А.А. Алфеев, О.М. Саркисов, В.В. Дикоп** // ЭКип России. — 2003. — Ноябрь. — С. 18-23.

Карнис Е.Е., Карнис Л.Е. Обеспечение высокой чистоты воздуха в кондиционируемых помещениях // ВСТ. — 1993. — №11-12. — С. 31-33.

Котлер В.Р. Опыт энергетиков США по снижению выбросов оксида азота при сжигании малореакционных углей // Электр. станции. — 1998. — №6. — С. 62-66.

Котлер В.Р. Результаты внедрения различных методов подавления NO_x на ТЭС США // Энергетик. — 2002. — №5. — С. 29-31.

Котлер В.Р. Результаты внедрения различных методов подавления оксидов азота на ТЭС США // Энергетик. — 2002. — №4. — С. 19-22.

Крейнин Е.В., Михалина Е.С. Рекомендации по конструированию малотоксичных газовых горелок // ЭКип России. — 2004. — Февраль. — С. 8-11.

Лазарев В.И. Очистка от оксидов азота дымовых газов мусоросжигательных заводов // Научн. и техн. асп. ООС. — 2003. — №4. — С. 57-72.

Ляхов Н.Э., Салимов Р.А., Спиридонов Г.А. Электронно-лучевая технология очистки газовых выбросов тепловых электростанций от окислов серы и азота // Наука — пр-ву. — 2003. — №7. — С. 54-57.

Модернизация отделения абсорбционной очистки агрегата АМ-70 ОАО «Невинномысский Азот» с заменой МЭА-раствора адсорбентом на основе МДЭА отечественного производства // Хим. пром-сть. — 2002. — №1. — С. 3-4.

Мошкин А.А., Вальдберг А.Ю., Каменщиков И.Г. Волокнистые туманобрызгоуловители // Научн. и техн. асп. ООС. — 2000. — №1. — С. 25-65.

- Мустафин Г.Ф., Потемкина Н.Ю.** Новые процессы и аппараты для пылегазоулавливания // Вестн. Ком. Рос. Фед. по металлургии. — 1995. — №5-6. — С. 41-47.
- Некаталитическая очистка дымовых газов от оксидов азота: результаты промышленного внедрения / **О.Н. Кулиш, В.Г. Систер, С.А. Кужеватов** и др. // ЭКип России. — 2004. — Апрель. — С.14-18.
- Некоторые особенности очистки промышленных газовых выбросов от оксидов азота / **Ю.П.Павленко, И.Г.Резниченко, Б.М.Рибисайло, В.В.Осипенко** // Изв. вуз. Черн. мет-гия. — 1995. — №3. — С. 74-75.
- Новая система газоочистки «Ветфайн» для по производству агломерата и окатышей / **К. Хофштадлер, Ф. Мурауэр, Д. Штайнер, В. Геберт** // Сталь. — 2002. — №5. — С. 71-72.
- О новой редакции санитарной классификации производств и иных объектов и сооружений // Гиг. и санит. — 1997. — №6. — С. 18-20.
- Обеспечение экологической безопасности на промышленных объектах: очистка газов от сероводорода / **Ф.Р.Исмагилов, Г.Г.Гафиатуллин, Р.С.Алеев** и др. // Научн. и техн. асп. ООС. — 1999. — №5. — С. 111-126.
- Определение степени опасности предприятия и ширины его санитарно-защитной зоны с помощью номограммы / **М.А. Пинигин, Л.А. Тепикина, О.В. Бударина** и др. // Гиг. и санит. — 2005. — №6. — С. 19-20.
- Очистка дымовых газов тепловых электростанций / **В.А.Зайцев, А.А.Кучеров, Т.Б.Пятина, А.П.Коваленко** // Хим. пром-сть. — 1993. — №3-4. — С. 39-47.
- Пай Э.П.** Экологические проблемы теплоэнергетики // Хим. в интер. уст. разв. — 1998. — №4. — С. 367-374.
- Пик продаж десульфурационных установок // Энерг. за руб. — 2002. — №4. — С. 33-34.
- Показатели и критерии оценки экологической безопасности производства / **В.П. Бусыгин, О.Г. Батюхнова, П.В. Захарова** и др. // ЭСип. — 2004. — №8. — С. 20-25.
- Пути снижения загрязнения окружающей среды предприятиями тепловой энергетики, работающими на углях / **А.В. Неведров, А.В. Папин, Г.А. Солодов** и др. // Вестн. Кузбас. ГТУ. — 2003. — №5. — С. 69-73.
- Раевич Б.А.** Загрязнение воздуха как фактор смертности в городах России // Бюл. Центра обществ. информ. по атомн. энергии. — 1998. — №12. — С. 30-36.
- Сандуляк А.В., Сандуляк А.А., Ершова В.А.** Жалюзийно-магнитный сепаратор для очистки газодисперсных смесей // ЭКип России. — 2006. — Сент. — С. 26-27.
- СанПиН 2.2.1 / 2.1.1.1200-03. Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий, планировка и застройка населенных мест. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
- Синельник М.Д., Коленько А.В., Гуцин Р.И.** Цепные фильтры: новые возможности улучшения состояния воздушной среды // Строит. мат-алы. — 1995. — №8. — С. 8-9.

Система «Эрфайн» для удаления диоксида из отходящих газов агропроизводства и электродуговых печей / **К. Хофштадлер, В. Геберт, К. Ландершторфер** и др. // Сталь. — 2001. — №12. — С. 81-84.

Смола В.И., Легостаев С.М. Современные методы очистки воздуха от монооксида углерода // Цв. мет-гия. Бюл. ин-та «Цветметинформация». — 1995. — №6. — С. 27-34.

Современные способы очистки газов от сероводорода и двуоксида углерода // Хим. пром-сть. — 2002. — №5. — С. 7-16.

Состояние исследований по разработке СНКВ-технологии и перспективы ее широкого применения в теплоэнергетике / **Ю.С. Ходаков, А.А. Алфеев, Ю.В. Ржевников** и др. // Электр. станции. — 2003. — №12. — С. 34-39.

Способ обезвреживания отходов, содержащих полиароматические углеводороды: Пат. 2196832 от 13.06.2001 РФ / **В.П. Хаустов, А.В. Дерновский, В.Н. Григорьев** и др. // Б.И. — 2003. — №2.

Тереценко Г.Ф. Проблемы снижения экологического прессинга химических производств // ЖПХ. — 1994. — №6. — С. 7-13.

Третьякова Н.В. Новая технология очистки отходящих газов от оксидов азота на ТЭЦ с котлами ТГМЕ.464 // Экология пром. пр-ва. — 1995. — №2. — С. 17-18.

Уменьшение эмиссии NO_x при двухступенчатом режиме сжигания природного газа в горелках / **А.А.Ашихмин, В.Л.Каратаев, В.Т.Рязанов, Г.М.Дружинин** // Сталь. — 1996. — №5. — С. 76-78.

Устинов О.А., Якунин С.А. Предпосылки разработки технологии очистки дымовых газов тепловых электростанций // Рос. хим. ж. — 1997. — №6. — С. 54-56.

Ходаков Ю.С. Новые и усовершенствованные технологии очистки дымовых газов ТЭС // ЭКип России. — 2005. — Февраль (С. 26-29), Март (С. 20-23).

Чайка Е.А., Охотин В.Н., Медведев В.И. О технологии очистки дымовых газов ТЭС от оксидов серы и азота электронно-лучевым методом // Энергет. стр-во. — 1994. — №7. — С. 71-74.

Чекалов Л.В., Громов Ю.И., Чекалов В.В. Новые разработки рукавных фильтров // Цемент и его прим. — 2006. — №4. — С.10-12.

Шакиров Б.С. Разработка способа очистки газа от сероводорода, гидрида фосфора и фтористого водорода с утилизацией отходов // Хим. пром-сть. — 1993. — №3.4. — С. 68-69.

Экологическая обстановка в городе Перми и его окрестностях / **А.В. Пикулик, Ю.В. Касаткина, Е.С. Пашукова** и др. // ЭВР. — 2005. — №12. — С. 47-54

Электронно-лучевые установки для очистки дымовых газов от оксидов серы и азота / **С.А.Фадеев, Т.С.Герасимова, Р.Н.Ризиханов** и др. // Энергетик. — 1995. — №4. — С. 12-14.

A plant for simultaneous purification of gas from sulfur and nitrogen oxides // Tech. Rev. — 1994. — 42. — №124. — P. 10.

Additive in plastic bags help cut incenerator emissions // Chem. Eng (USA). — 1994. — 101. — №11. — P. 28.

Air emissions fall, but ozone remains problematic // Chem. and Eng. News. — 2001. — 79. — №44. — P. 18.

Air solution control to exceed US \$197 bn in 2000 // Filter and Seperac. — 1998. — 35. — №5. — P. 400.

Asalty solution for flue gas desulfuration // Chem. Eng. (USA). — 1997. — 104. — №7. — P. 25.

Bettoni F., Rohr P.R. Entstickungsprozess unter stationären und dynamischen Bedingungen mit realem Diesellabgas // Chem.-Ing.-Tech. — 1998. — 70. — №10. — S. 1340-1344.

Cements Caltia Couvrot replace son electrofiltre par un filtre a manches // Cim., betons, platres, chaux. — 1999. — №3. — P. 153.

Dry sodium injection for flue gas desulfuration goes commercial / Chem. Ing (USA). — 1993. — 100. — №10. — P. 21.

Electron beam zaps NO_x and SO_x // Chem. Eng (USA). — 1998. — 105. — №3. — P. 25.

Electron beams zap coal plant pollutants // Elect. Rev. (Gr. Brit). — 1995. — 228. — №14. — P. 20.

Fersha F. Osterreichische Umwelttechnik in der Schweiz Rauchgas-Entstickungsanlage fur Lonza in Visp, Kanton Walles // Stahlbau-Rdsch. — 1997. — №88. — S. 53-54.

Filtration in hot gases: Comparison of ceramic and sintered metal-fibre candles / Chem. plants + Process. — 2002. — 35. — №1. — P. 24-25.

Flue gas desulfuration suestem using the magnesium process // Mitsubishi Heavy Ind. Techn. Rev. — 1995. — №1. — P. 41-42.

How to reclaim salable HCl from flue gas // Chem. Eng (USA). — 1995. — 102. — №6. — P. 15.

Izutsu M., Iizuka Y., Hayashi K. Method and apparatus for treating gas by irradiation of electron beam // Pat. 6179968 (USA). Priority 25.07.1996.

Kalte Reaktionen // Umweltmagazin. — 1996. — 25. — №5. — S. 126-127.

Kind K.K., Wasserman P.D., Rochell G.T. Effect of sult on preparation and use of calcium silicates for flue gas desulfuration // Env. Sci. and Technol. — 1994. — 28. — №2. — P. 277-283.

Marsh P. Advantages of activated carbon for removal of odors // Water and Waste Treat. — 1993. — 36. — №9. — P. 36-37.

Pab R., Schonlebe K. Production of filters for hot flue gas with metallic elements of division // Chem.-Ing.-Techn. — 1993. — 65. — P. 1106.

Procede de desulfuration des fumees en voie himide utilisant la farine crude // Chim., betons, platres, chaux. — 1998. — №3. — P. 185-188.

Radojevic M. Opportunity NO_x // Chem. Brit. — 1998. — №3. — P. 30-33.

Takanashi S., Ikemoto Y., Yanagida T., Kotake S. // Mitsubishi juko gino. — 1992. — 29. — №4. — P. 285-289.

Weiler H. Erfahrungen mit der Abgasreinigung mit Kalkproducten bei Kohlekraftwerken und Abfallverbrennungsanlagen // Zement-Kalk-Gips int. — 1997. — 50. — №2. — S. 96-102, 105-111.

Windschmitt F. Von Einzelapparat bis zur fertigen Gesamtanlage // Chem.-Ing.-Techn. – 1999. – 71. – №1-2. – С. 25-26.

Глава четвертая

Банников В.В. Электромагнитная обработка воды (часть 1) // ВСТ. – 2005. – №5. – С. 17-20.

Белоусов А.Н. Новое оборудование компании «Альфа Лаваль» для водоснабжения и канализации // ВСТ. – 1997. – №12. – С. 26-27.

Бельков В.М., Чанг С.У. Методы глубокой очистки сточных вод от нефтепродуктов // Хим. пром-сть. – 1998. – №5. – С. 14-22.

Большаков А.А. Критерии процесса обескремнивания воды электрокоагуляцией // Изв. вуз. Стр-во. – 2006. – №6. – С. 67-69.

Большеменников Я.А., Мосин А.И., Хлыстиков С.Р. Применение механических ступенчатых решеток на ЦСА Санкт-Петербурга // ВСТ. – 1997. – №1. – С. 29-30.

Ван Старкенбург. Анаэробная очистка сточных вод. Современное состояние // Микробиология. – 1997. – 66. – №5. – С. 705-715.

Виноградов О.О., Погорелов В.И., Феофанов В.А. Применение гальванокоагуляции для очистки промышленных сточных вод // Цв. металлы. – 1993. – №11. – С. 59-60.

Внедрение технологии УФ-обеззараживания сточных вод / **В.М.Бутин, С.И.Жуков, С.В.Костюченко** и др. // ВСТ. – 1996. – №12. – С. 18-20.

Вода питьевая. Нормативы качества // ЭВР. – 2002. – №6. – С. 55-60.

Высокоэффективные и технологичные гидроциклонные аппараты / **А.И.Пронин, Н.А.Кудрявцев, А.А.Иванов** и др. // ВСТ. – 1996. – №10. – С. 27-30.

Гигиенические аспекты обеззараживания сточных вод ультрафиолетовым излучением / **Ю.В.Новиков, Г.В.Цыплакова, А.В.Тулакин** и др. / Гиг. и санит. – 2000. – №1. – С. 12-15.

Гигиенические проблемы питьевого водоснабжения и пути их решения / **Ю.В.Новиков, А.В.Тулакин, Г.В.Цыплакова** и др. // Гиг. и санит. – 1997. – №6. – С. 24-27.

Глубокая очистка природных и сточных вод на биосорберах / **В.Н.Швецов, С.В.Яковлев, К.М.Морозова** и др. // ВСТ. – 1995. – №11. – С. 6-9.

Гончарук В.В., Потапченко Н.Г. Современное состояние проблемы обеззараживания воды // Научн. и техн. асп. ООС. – 1999. – №6. – С. 45-69.

Горюнов А.В. Методы очистки нефтесодержащих сточных вод // Нефтяная и газовая пром-сть. Сер. «Нефтепромысловое дело». – 1992. – №5. – С. 17-22.

Гумен С.Г. Обработка и утилизация осадков городских сточных вод // ВСТ. – 1995. – №4. – С. 6-8.

Гюнтер Л.И. Состояние и перспективы обработки и утилизации осадков сточных вод // ВСТ. – 2005. – №12. – ч. 2. – С. 5-9.

Демидов О.В., Скирдов И.В. Интенсификация процесса биологической очистки сточных вод // ВСТ. – 1996. – №3. – С. 16-18.

Денисова И.А., Гутенев В.В. Дезинфектанты для технологий водоподготовки в чрезвычайных экологических ситуациях: проблема выбора // Экон. природопольз. — 2005. — №5. — С. 80-98.

Достоинства и недостатки промышленных методов обеззараживания воды / **В.М.Альшин, С.В.Волков, А.Я.Гильбух** и др. // ВСТ. — 1996. — №12. — С. 2-7.

Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Образование токсичных продуктов при использовании различных окислителей для очистки воды // ВСТ. — 2002. — №2. — С. 9-14.

Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Проблемы очистки воды на водоочистных станциях России // ВСТ. — 2006. — №7. — С. 2-7.

Жуков Н.Н., Драгинский В.А., Алексеева Л.П. Озонирование воды в технологии водоподготовки // ВСТ. — 2000. — №1. — С. 2-4.

Журба М.Г. Водоочистные технологии и сооружения с плавающим фильтрующим слоем // ВСТ. — 1998. — №8. — С. 16-20.

Загорский В.А., Козлов М.Н., Данилович Д.А. Методы обеззараживания сточных вод // ВСТ. — 1998. — №2. — С. 2-5.

Зорина Е.И. Активированные угли для водоподготовки // ВСТ. — 1998. — №8. — С. 22-23.

Иванов В.П., Дайнеко Ф.А. Курьяновская станция аэрации: состояние и перспективы развития // ВСТ. — 1996. — №1. — С. 6-8.

Иларов Н.А., Файко Л.И., Штейн Ю.В. Способ обеззараживания сточных вод: Пат. 1838244 СССР от 17.04.1991. // Б. И. — 1993. — №32.

Ищенко И.Г., Миркис В.И. Реконструкция водопроводных станций г. Москвы // ВСТ. — 1999. — №8. — С. 4-5.

Кармазинов Ф.В., Пробриский М.Д., Васильев Б.А. Юго-Западные очистные сооружения Санкт-Петербурга // ВСТ. — 2005. — №12. — ч. 1. — С. 3-7.

Катраева И.В. Опыт эксплуатации установок анаэробной биохимической очистки сточных вод // Изв. вуз. Стр.-во. — 2005. — №9. — С. 62-68.

Кертман С.В., Гертман Г.М., Чибрикова Ж.С. Использование торфа в качестве сорбента ионов тяжелых металлов // ЖПХ. — 1993. — №2. — С. 465-466.

Кибирев Д.И., Никифоров Г.И., Поживалко К.С. Обеззараживание питьевой воды гипохлоритом натрия // ВСТ. — 1997. — №6. — С. 28-29.

Колесников В.А., Варакин С.О., Ильин В.И. Электрофлотационный способ очистки сточных вод от ионов металлов и органических загрязнителей и оборудование // Хим. пром.-сть. — 1994. — №6. — С. 28-34.

Колесников В.А., Ильин В.И. Электрофлотационный способ очистки сточных вод гальванических производств // ВСТ. — 1997. — №8. — С. 10-13.

Комплекс ультрафиолетовой дезинфекции сточных вод / **В.М.Альшин, Л.Т.Калинская, С.А.Щелокова** и др. // ВСТ. — 1995. — №7. — С. 16-18.

Комплексная очистка сточных вод: биохимическое обезвреживание газовых выбросов, переработка твердых отходов / **В.А. Ливке, В.А. Губернаторова, А.Д. Тюльпинов, Е.М. Принь** // Хим. пром.-сть. — 1999. — №3. — С. 44-49.

- Корневский В.И., Корневский Г.В.** Полимербетонные фильтры для очистки сточных вод // ЭКип России. — 2002. — Октябрь. — С. 6-8.
- Корженяк И.Г., Ромашин О.П., Миркис В.И.** Применение диоксида хлора в качестве дезинфицирующего средства для обработки воды // ВСТ. — 1997. — №10. — С. 10-12.
- Костюченко С.В.** УФ-технология в практике обеззараживания питьевых и сточных вод // ВСТ. — 2004. — №5. — С. 33-35.
- Малкин В.П., Хазель М.Ю., Ерофеева М.Р.** Ионообменная очистка сточных вод гальванических цехов // Изв. вуз. Химия и хим. технология. — 1994. — №12. — С. 95-97.
- Меньшиков О.А., Храмова Т.Г., Стом Д.И.** Доочистка сточных вод свиноводческих комплексов макрофитами // Водн. ресурсы. — 1994. — №3. — С. 383-384.
- Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов на ТЭС и АЭС / **С.А.Шишкова, Л.И.Юрченко, М.Я.Сорокин** и др. // Электр. станции. — 1993. — №10. — С. 28-35.
- Найденко В.В., Губанов Л.Н.** Технологическая и экономическая оценка методов очистки сточных вод гальванических производств // Изв. вуз. Стр.-во. — 2005. — №9. — С. 76-78.
- Нефедов Ю.И.** Обработка осадков городских сточных вод // ВСТ. — 1996. — №1. — С. 9.
- Новиков Г.В., Яшина С.В., Михайлов А.В.** Сорбционная очистка сточных вод гальванического производства от цветных металлов на океанических конкрециях // Комплекс. использ. минер. сырья. — 1992. — №10. — С. 62-67.
- О сорбции маслопродуктов отходами металлургического производства / **В.Г.Березюк, Ю.А.Галкин, О.В.Ефтюхова, В.И.Аксенов** // ВИНТИ. — №6777-В от 22.09.1986. — Деп.
- Обезвреживание сточных фенолформальдегидных вод методом термолитолиза / **Н.А.Архипов, Л.В.Белуничев, В.В.Клочай** и др. // ВСТ. — 2000. — №6. — С. 22-23.
- Обеззараживание питьевой воды ультрафиолетовым излучением / **В.М.Бутин, С.В.Волков, С.В.Костюченко** и др. // ВСТ. — 1996. — №12. — С. 7-10.
- Онищенко Г.Г.** Устойчивое обеспечение питьевой водой населения России и для профилактики заболеваемости инфекционными и неинфекционными заболеваниями // ЖПХ. — 2003. — №2. — С. 3-6.
- Оценка эффективности удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод в форме гидроксидов / **В.П. Святохина, О.Ю. Исаева, С.В. Пестриков, Н.Н. Красногорская** // ЖПХ. — 2003. — №2. — С. 330-332.
- Очистка сточных вод электростанций с использованием мембранных фильтров / **Х.Андо, Ф.Тадзино, Т.Шираи**, etc. // Chem. Eng. — 1994. — 58. — №6. — P. 449-452 (яп. яз.).
- Пат. 394030 (Австрия) от 27.07.90. Опубл. 27.01.92.
- Перспективы биологической анаэробно-аэробной очистки сточных вод // ВСТ. — 1994. — №7. — С. 22-26.

Повышение экологической безопасности водоподготовки и водоотведения УФ-обеззараживанием / **А.И. Ахигеревич, В.В. Денисов, В.В. Гутенев, Е.Н. Гутенева** // Научн. и техн. асп. ООС. — 2001. — №5. — С. 24-43.

Порядин А.Ф. Экологические и технические факторы в улучшении качества воды // ВСТ. — 1999. — №7. — С. 24-26.

Поход к разделению многокомпонентных смесей за счет первопарации / **С.А.Трифонов, Д.А.Палеев, Н.В.Тычин, В.И.Муштаев** // Хим. пром-сть. — 1997. — №8. — С. 14-18.

Применение металлических мембран для разделения водомасляных эмульсий / **С.А.Трифонов, В.А.Колпаков, Н.В.Тюрин, В.И.Муштаев** // Хим. пром-сть. — 1997. — №8. — С. 19-23.

Применение ультразвука для интенсификации биологической очистки сточных вод // ВСТ. — 1994. — №7. — С. 31-32.

Проблемы организаций водопроводно-канализационного хозяйства // Пробл. ОС и ПР. — 2003. — №11. — С.74-78.

Пупырев Е.И. Научно-производственная деятельность ГУП «Институт МосводоканалНИИпроект» // ВСТ. — 1999. — №8. — С. 2-3.

Разумовский Э.С. Современные технологии очистки сточных вод // Жилищн. и коммуна. хоз-во. — 1994. — №3. — С. 30-34.

Рахманкулов Д.Л., Мастобаев Б.Н., Кузнецова Е.В. Развитие коммунальных и фабричных систем канализации и очистных сооружений (VI в. до н.э — начало XX в.) // Ист. науки и техн. (Уфа). — 2004. — №4. — С. 98-103.

Русанов А.И., Сидорова М.П. Коллоидно-химические методы очистки жидких сред // Журн. прикл. химии. — 1993. — №11. — С. 2406-2415.

Савельева Л.С., Данилович Д.А., Николаев В.М. Двухфазная технология анаэробного сбраживания осадков городских сточных вод // ВСТ. — 1998. — №9. — С. 25-27.

Санитарно-эпидемиологический надзор за применением УФ-излучения в подготовке питьевой воды / **Ю.В.Новиков, Г.В.Цыплакова, Р.С.Ехина** и др. // ВСТ. — 1998. — №12. — С. 11-12.

Селюков А.В., Скурлатов Ю.И., Козлов Ю.П. Применение пероксида водорода в технологии очистки сточных вод // ВСТ. — 1999. — №12. — С. 25-27.

Семенов Г.М., Бесков В.С., Ванчурин В.И. Дезактивация ванадиевого катализатора ИК 1-6 // Хим. пром-сть. — 1997. — №10. — С. 27-31.

Сидельникова Л.И. Биотехнология в очистке промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов // Экология пром. пр-ва. — 1994. — №2. — С. 32-35.

Скурлатов Ю.И., Штамм Е.В. Ультрафиолетовое излучение в процессах водоподготовки и водоочистки // ВСТ. — 1997. — №9. — С. 14-18.

Смирнов Н.Н. Аппаратурное оформление процесса ионного обмена // Хим. пром-сть. — 1995. — №8. — С. 33-38.

Сокольский Ю.М. О достоверных и недостоверных «эффектах» магнитной обработки // ЖПХ. — 1987. — №4. — С. 784-788.

Способ очистки поверхности воды от нефти / **В.Ж.Аренс, О.М.Гридин, Р.С.Мижерова, А.В.Золовский**: А. С. 1773873 СССР от 11.05.1990 // Б. И. — 1992. — №41.

Способ очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / **Б.В.Пилат, А.И.Якунин, Г.М.Палийчук** и др.: А. С. 1696399 СССР от 01.07.1988 // Б. И. — 1991. — №45.

Способ получения фильтрующего материала для очистки сточных вод медно-травильного производства / **Б.И.Масленников, Ю.А.Шульман, Н.Н.Захаров, Н.К.Кузнецова**: А. С. 1710102 СССР от 25.09.1989 // Б. И. — 1992. — №5.

Технология глубокой очистки стоков мембранным разделением активного ила фирмы Kawasaki Steel // Инф. руководителю. — 2002. — №7. — С. 31-32.

Требования к современному оборудованию для обеззараживания питьевой воды ультрафиолетовым излучением / **С.В.Костюченко, С.А.Васильев, С.В.Волков, А.В.Якименко** // ВСТ. — 1998. — №11. — С. 11-13.

Ультрафиолетовая дезинфекция воды в промышленности: обзор / **В.М.Альшин, С.В.Волков, А.В.Калинский** и др. // ВСТ. — 1994. — №10. — С. 5-8.

Ускоренное обезвоживание осадков сточных вод на иловых площадках / **Ю.Н. Похил, Ю.Г. Багаев, В.М. Вашкурцев** и др. // ВСТ. — 2004. — №3. — С. 14-16.

Храменков С.В. Мероприятия по снижению водопотребления в Москве // ВСТ. — 1997. — №11. — С. 2-4.

Храменков С.В. Московский водопровод и канализация в 21 в. // ВСТ. — 1999. — №9. — С. 2-3.

Храменков С.В., Загорский В.А., Данилович Д.А. Обработка и утилизация осадков на Московских станциях аэрации // ВСТ. — 2002. — 12. — ч. 1. — С. 7-12.

Хубларян М.Г. Водные проблемы в XXI веке // ВСТ. — 2002. — №4. — С. 5-8.

Чантурия В.А., Соложеннин П.М. Гальванохимическая обработка воды: теория процесса, оборудование и практика использования для удаления примесей // Электрон. обраб. матер. — 2004. — №2. — С. 67-81.

Шантарин В.Д., Завьялов В.В. Оптимизация электрокоагуляционной очистки питьевой воды // Научн. и техн. асп. ООС. — 2003. — №5. — С. 62-85.

Яшкичев В.И. К вопросу о влиянии магнитного поля на реакционную способность воды // Журн. неорг. х. — 1980. — №2. — С. 327-331.

A novel membrane system for aerobic wastewater treatment / **A.Scott, D.Neilson, K.Smith, J.Howell** // Chem. Eng. (Gr. Brit.). — 1997. — №636. — P. 26-28.

Aked L. Screening out pollutant // Afr. Bus and Technol. — 1995. — 31. — №3. — P. 38.

Ballay D. L'élimination des nutriments dans les stations d'épuration // Techn., sci., meth. — 1992. — №4. — P. 165-170.

Berger C., Lohaus J. Zustand der canalisation in Deutschland // WWT: Wasserwirt. Wassertechn. — 2003. — №7-8. — S. 10-16.

Billmerier E. Naturnahe Klaranlagen im landlichen Raum // Wasserwirt. — Wassertechn. — 1999. — №5. — S. 17-21.

- Boucard F., Legeron J.-P.** Traitement des effluents: la microfiltration tangentielle en asainissement autonome // *Eau, ind., nuisances.* – 1997. – №204. – P. 122-125.
- Brepols C.** Membranfilter für die kommunale Abwasserreinigung // *bbr.* – 2005. – 56. – №2. – S. 44-46.
- Brown A.** Pat. 5160629 (USA). Priority 10.06.91. Published 3.11.1992.
- Bux M., Bauman R.** Solare trocnung von Klärschlamm // *Abwasser, Abfall.* – 2003. – 50. – №6. – S. 732-734, 736-739.
- Caracterisation of activated sludge flocs structure / **D.Snidaro, F.Zartarian, F.Jorand**, etc. // *Water Sci. and Technol.* – 1997. – 36. – №4. – P. 313-320.
- Cavitation and ultraviolet radiation team up to decontamination wastewater // *Chem. Eng. (USA).* – 1995. – 102. – №9. – P. 17.
- Coluot. C.** Deshydratation des boues industrielles et de station d'épuration par unité mobile de filtre-presse a membrane d'eau // *Galvano-organo-trait. surface.* – 1999. – 68. – №699. – P. 878-879.
- Dangel R.A., Austraukis D., Palmateer J.** Fatty acid separation from hydrolyzed waste-water by ultrafiltration // *Environ. Progr.* – 1995. – 14. – №1. – P. 65-68.
- Denkert R.** Klärschlämme effirient eindicken und entwässern mit Dekantierzentrifugen // *Umweltraxis.* – 2002. – 2. – №3. – S. 38-41.
- Esch B., Riesen S.V.** Zahlen zur Abwasser und Abfallwirtschaft // *Korresp. Abwasser.* – 1996. – 43. – №7. – S. 1278-1284.
- Esch B., Thaler S.** Abwasserentsorgung in Deutschland – Statistik // *Korrespond Abwasser.* – 1998. – 45. – №5. – S. 850-854.
- Etude de la nitrification teriäire sur le bioreacteur a ruisselement Sessil / **J.-F.Bernard, M.Riotte, J.Krier** // *Techn., sci., meth.* – 1998. – №3. – P. 35-43.
- Feldhusen C.F. und S:** Automatische Reinigung von kommunalem Abwasser // *Filtr. und Separ.* – 2003. – 17. – №2. – S. 66-68.
- Final leg of the TARP deep tunnel project underway // *World Tunnel.* – 2003. – 16. – №2. – P. 44.
- Gärtner S.** Schwimmschlammbekämpfung aut dem klärwerk der Hansestadt Greifswarld – ein selbst entwickeltes Verfahren // *KABert-Info.* – 2004. – 34. – №3. – S. 1227-1230.
- Grägel W.** Abwasserdesinfection durch UB-Bestrahlung // *WWT: Wasserwirt, Wassertechn.* – 2005. – №1-2. – S. 36-38.
- Gross T.S.C., Murphy R.** Desinfection of sewage effluent: the Jersey experience // *J. Inst. Water and Environ. Manag. (Gr. Brit.).* – 1993. – 7. – №5. – P. 481-490.
- Hodkinson B., Williams J.B., Butler J.E.** Development of biological aerated filters: A review // *Water and Environ. Manag.* – 1999. – 13. – №4. – P. 250-254.
- Hunze M.** Sauerstoffzufuhr in Belebungsbecken durch Oberfläihenbelüfter // *KA-Abwasser, Abfall.* – 2003. – 50. – №4. – S. 464-469.
- Imhoff K., Gruhler J.** Landbehandlung, Fullcorper, Tauchcorper und Tropfcorper // *Korrespond. Abwasser.* – 1998. – 45. – №5. – S. 835-836, 838, 840-842, 845, 846, 848.

- In-situ regeneration of odour control granular carbon // *Water and Waste Treatment (Gr. Brit.)*. — 1997. — 40. — №9. — P. 34.
- Kagawa M.** Utilisation of wastewater subjected to advanced treatment for improvement of Osaka city's environment // *Osaka and its technology*. — 1994. — №25. — P. 15-22.
- Kneisel S.** Ottawa firm makes wastewater white "as snow" // *Can. Consult. Eng.* — 1996. — July-Aug. — P. 18-19.
- Kosten und Finanzierung der Abwasserentsorgung in Deutschland // *Korrespond. Abwasser*. — 1996. — 43. — №11. — S. 1870-1872.
- La nouvelle station de purification de Saint-Thibault-des-Vignes (Seine et Marne) // *Techn., sci., meth.* — 1994. — №6. — P. 306-307.
- Li Hai-Qing, Schröder H.** Ursachen für die Schaumentwicklung auf kommunalen Kläranlagen unter Berücksichtigung des Beitrags oberflächenaktiver // *Abwasser, Abfall*. — 2004. — 51. — №1. — S. 48-55.
- Lutzner K., Müller V.** Ist eine kostengünstige Abwasserbehandlung in Pflanzkläranlagen möglich? // *Entsorg. Prax.* — 1997. — 15. — №11. — S. 44-47.
- Matthews P.J., Jones K.** Clarifying tank with buoyant filter // *Application 2306462 (Gr. Brit.)*. Priority 15.10.1996. Published 7.05.1997.
- Mobile station zur Abwasserbehandlung // *Dtsch. Maschinenwelf.* — 1994. — 71. — №5. — S. 7-8.
- New pressure filter generation // *Mining Mag.* — 1998. — 178. — №6. — P. 402.
- Nit 1R-Stahlung eindampfen // *Chem.-Ind.-Techn.* — 1998. — 70. — №4. — S. 358.
- Nolde E.** Wasserrecycling im Haushalt // *KZ-Haustechn.* — 2003. — 58. — №1-2. — S. 32-35.
- Openlander T.** Entwicklung von inkohärenten Vakuum-UV und UV-Excimerstrahlern für lichtinduzierte Wasser- und Abwasserbehandlungsverfahren // *Chem.-Ing.-Techn.* — 1997. — 69. — №9. — S. 1244-1245.
- Paffoni C., Payraudeau L.** Le prototype Biostyr-Bilan des essais // *Techn., sci., meth.* — 1998. — №3. — P. 19-27.
- Pelletized composition for treatment of storm water runoff / **J.H.Lenhart, J.Knutson, W.Stewart, D.S.Campbell** // *Pat. 5624576 (USA)*. Priority 7.02.1996. Publication 24.04.1997.
- Performance of the burwarton Estate waste stabilization ponds / **D.D.Marra, C.A.Cogman, P.Simkins, M.C.A.Schembri** // *Water and Environ. Manag.* — 1998. — 12. — №4. — P. 260-264.
- Perrot J.-Y.** Les ultraviolets face au chlore et à l'ozone // *Trois O.* — 1995. — Num. Spec. — P. 67.
- Polymere Mikrofilter halten Schwermetalle zurück // *Galvanotechnik*. — 1995. — 86. — №3. — S. 804-805.
- Poulet J.-B., Dischly D., Reeb G.** Etat de l'art sur l'assainissement des eaux usées domestiques par lit de plantes de macrophytes // *Art et ind.* — 1995. — №236. — P. 11-13.
- Procédé d'injection dans un jet de plasma d'un fluide à traiter et application notamment à la destruction des déchets toxiques / **R. Gerald, V. Yves, D. Philippe, etc** // *Application 2780235 (France)*. Priorité 22. 06.1998. Publication 24.12.1999.

Pugol R. La traitement des eaux uses a Grenoble une realisation exemplaire // Techn., sci., meth. – 1992. – №10. – P. 453-456.

Pugol R., Lemmel H., Vedry B. Le biofor en nitrification tertiaire: le prototype Siaar de la station Seine aval (acheres) // Techn., sci., meth. – 1998. – №3. – P. 28-34.

Resent development in the biological filtration of sewage to produce high-quality nitrified effluents / **A.G.Boon, I.Hemfrey, K.Boon, M.Brown** // Water and Environ. Manag. – 1997. – 11. – №6. – P. 383-412.

Rotating biological contractor solid system for the treatment of wastewater from small communities / **G.D'Antonio, L.Mendia, F.Pirozzi, A.Polese** // Water sci. and Technol. – 1997. – 35. – №6. – P. 109-118.

Sauska C., Pirovic A. Germicidal lamp and purification system having turbulent flow // Pat. 6875988 (USA). – Priority 17.01.2002. Published 05.04.2005.

Schade M., Lemmer H. Schaumbekämpfung in Belebungsanlagen: Monitoring der Lipase-Aktivität zur Erfolgskontrolle // Abwasser, Abfall. – 2005. – 52. – №5. – S. 572-576.

Scott H.W. System and apparatus for removing dissolved and suspended solids from a fluid stream // Pat. 6878288 (USA). – Priority 17.12.2002. Published 12.04.2005.

Sewage treatment system with air jetting means / **Y.Funakoshi, K.Ogato, M.Kojima**, etc. // Pat. 5558763 (USA). Priority 24.06.1993 №5-153590 (Japan). Published 24.09.1996.

Sparka U., Krampitz R. Aufbereitung Kontamierten wassers // Baust. Recycl + Deponietechn. – 1994. – 10. – №5. – S. 4-6.

Steiner A. Verfahren zum abstoppen von faulprozessen in faulschlamm // Pat. 402289 (Austria). Priority 30.12.1994. Publication 25.03.1997.

The use of constructed wetlands to upgrade treated sewage effluents before discharge to natural surface water in Texel island, the Netherland pilot study / **M. Schreijer, R. Kampf, S. Toet, J.Verhoeven** // Water Sci and Technology. – 1997. – 35. – №5. – P. 231-237.

Ultraviolet disinfection // Water and Waste Treat. – 1994. – 37. – №3. – P. 42, 56.

Vilnat M. SGS-Thomson d'ebarrasse l'Arc de son silicon // Usine nouv. – 1994. – №2469. – P. 80.

Wienerberger K. First class clay // Water and Environ. Int. – 1993. – 2. – №22. – P. 9.

Williams L. Little Calumet leg sewer tunnel in Chicago // Tunnel. – 2003. – №6. – P. 40-42.

Williams T. Apparatus and method for wastewater treatment // Application 2336359 (Gr. Brit.). Priority 16.04.1998.

Yano S. Применение систем ультрафильтрации Denipas для обработки фекалий // Ebara Eng. Rev. – 1995. – №167. – P. 77-81 (яп. яз.).

Глава пятая

Антонова Н.Б., Туманова Н.А. Зарубежный опыт ликвидации свалок // Пробл. ОС и ПР. – 1994. – №2. – С. 88-94.

Балашов В.В. Ресурсы отвалов и отходов обогащения предприятий горной и металлургической промышленности // Черн. мет.-гия. Бюл. ин-та «Черметинформация». — 1993. — №7. — С. 20-27.

Богданова М.Д. Об устойчивости почв к кислотным воздействиям // Вестн. МГУ. Сер. география. — 1991. — №2. — С. 71-79.

Бурлака В.А., Казарин В.Ф. Восстановление плодородия почв, загрязненных высокоминерализованными пластовыми водами // ЭКип России. — 2005. — Февраль. — С. 21-25.

Влияние предприятий нефтехимической и нефтеперерабатывающей отрасли на санитарное состояние почвенного покрова / **Р.А.Сулейманов, С.М.Сафонникова, М.Р.Яхина, С.А.Могжанова** // Гиг. и санит. — 1996. — №3. — С. 12-15.

Голосов В.Н., Иванова Н.Н. Некоторые причины отмирания речной сети в условиях интенсивного сельскохозяйственного освоения земель // Водн. ресурсы. — 1993. — 20. — №6. — С. 684-688.

Гофман Ю.В. Экоцид // В кн.: Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. — Абакан: — Изд-во Хакас. гос. ун-та, 2004. — С. 9-10.

Деактивация загрязненных вод после электрокинетической очистки грунтов / **А.С. Медведев, М.Л. Медведева, Е.В. Богатырева, Абдруззессе** // ЭКип России. — 2004. — Февраль. — С. 36-40.

Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П., Штина Э.А. Загрязнение почв фтором и оценка состояния микробного компонента в зоне воздействия алюминиевого завода // Почвоведение. — 1997. — №7. — С. 898-906.

Ивлиев Е.А., Липатов В.В. Биоэлектрическая очистка грунтов от нефтепродуктов // ЭСиП. — 2003. — №8. — С. 17-19.

Казакова И.Г., Слинью О.В. Проблема подтопления на территории России и возможные пути ее решения // Геоэкология. — 1993. — №1. — С. 43-50.

Карамышев О.В. Государственный земельный контроль и экологическая безопасность // Пробл. ОС и ПР. — 2003. — №3. — С. 112-130.

Кнатъко В.М., Щербакова Е.В. Смесь для рекультивации шламохранилищ: Пат. 2084417 РФ от 5.06.1991 // Б. И. — 1997. — №20.

Ковалев Е. Незримая угроза будущему // МЭиМО. — 1996. — №3. — С. 118-125.

Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Потапов И.И. Статистика природных катастроф // Пробл. ОС и ПР. — 2005. — №5. — С. 57-76.

Копосов Е.В., Казаков С.Д. О совершенствовании системы безопасности объектов жизнеобеспечения городов, расположенных в зонах развития карста и оползней // Изв. вуз. Стр.-во. — 1999. — №6. — С. 121-126.

Куценко В.В. Угрозы экологической безопасности Российской Федерации и пути их снижения // Пробл. ОС и ПР. — 2003. — №3. — С. 44-51.

Лотош В.Е. Антропогенные факторы деградации почв и рекультивация нарушенных земель // Пробл. ОС и ПР. — 2004. — №2. — С. 2-16.

Лотош В.Е. Очистка загрязненных земель // ЭСиП. — 2001. — №11. — С. 29-32.

- Макунина Г.С.** Оценка потерь гумуса в главных типах почв в процессе их земледельческого освоения // Изв. ВГО. — 1991. — 123. — №2. — С. 122-128.
- Мальцев В.Т., Юндин А.Н., Ступень Н.С.** Вяжущее: Пат. 2038335 от 7.08.1992 // Б. И. — 1995. — №18.
- Муравлев А.** Алтай — ракеты против людей и природы (после космического праздника) // Эко бюллетень. — 1999. — №12. — С. 8-10.
- Охрана почв в Российской Федерации (обзор нормативной документации) / **Н.М.Чернавская, Т.Б.Плескачева, И.И.Потапов** и др. // Пробл. ОС и ПР. — 1997 — №8. — С. 75-102.
- Рекультивация иловых площадок — новый вклад в улучшение экологической ситуации Московского региона / **С.В. Храменков, В.А. Загорский, А.Н. Пахомов, А.В. Ганин** // ЭКиП России. — 2002. — Ноябрь. — С. 4-8.
- Рис Дж., Эллис Б.** Интегрированные инженерные и научные методы переработки загрязненных почв и почвенных вод // Хим. в интер. уст. разв. — 1993. — №2. — С. 281-288.
- Ровинский Ф.Я.** Фоновое загрязнение природных сред на территории Евразии (1990 г.) // Пробл. ОС и ПР. — 1994. — №1. — С. 59-70.
- Сергеев В.А., Шулаева Р.В.** Очистка и восстановление нефтезагрязненных грунтов на нефтепромысловых объектах // Пробл. ОС и ПР. — 2002. — №11. — С. 58-61.
- Сидоров П.И., Скребцова Н.В., Совершаева С.Л.** Медико-экологические аспекты здоровья населения на территории ракетно-космической деятельности // Гиг. и санит. — 2006. — №3. — С. 11-15.
- Сизов А.П.** Городские земли: современное состояние и перспективы // ЭКиП. — 2000. — Июнь. — С. 25-28.
- Скорость почвообразования и допустимые нормы эрозии почв / **А.М.Геннадиев, М.И.Герасимова** и др. // Вестн. МГУ. Сер. география. — 1987. — №3. — С. 31-36.
- Томаков П.И., Макшеев В.П.** Сохранение и восстановление природной среды в горнодобывающих районах // Металлург. — 1995. — №12. — С. 13-15.
- Удаление углеводородных загрязнений из грунта на территории нефтебазы в Нидерландах // Защита от коррозии и ООС. — 1997. — №4-5. — С. 32-33.
- Хомяков Д.М.** Земельные ресурсы и проблемы агропроизводства России // Пробл. ОС и ПР. — 1998. — №6. — С. 3-19.
- Храменков С.В., Пахомов А.Н, Ганин А.В.** Комплексное решение проблемы по разработке и внедрению современных технологий рекультивации территорий иловых площадок станций аэрации с возвращением выведенных из оборота земель // ВСТ. — 2002. — №12. — ч. 1. — С. 17-19.
- 30 лет ЮНЕП: окружающая среда для развития: планета, люди, процветание // Пробл. ОС и ПР. — 2003. — №7. — С. 55-88.
- Чаповский А.Э.** Концептуальные подходы в охране окружающей среды и природопользовании и проблемы, связанные с их реализацией в ТЭК в целом и в угольной промышленности в частности // Пробл. ОС и ПР. — 1995. — №5. — С. 16-35.

Эрозионные процессы на европейской части СССР, их количественная оценка и районирование / **М.Ю.Белоцерковский, Н.Г.Добровольская** и др. // Вестн. МГУ. Сер. география. — 1990. — №2. — С. 37-46.

A slurry that can speed up soil remediation and cut costs // Chem. Eng (USA). — 1998. — №1. — P. 23.

Acid cleans heavy metals // Chem. Eng (USA). — 1991. — 98. — №4. — P. 17, 19.

Bulman T.L., Newland M., Wester A. In-situ cleaning of the soil with diesel fuel from pollutants using bioventilation // Hydrol. Sci. J. — 1993. — 38. — №4. — P. 297-308.

Cement offers a solid outlet for contaminated soil // Chem. Eng (USA). — 1997. — 104. — №2. — P. 23.

Chapius R., Roudier P. Les techniques de depollution // Face risque. — 1995. — №311. — P. 13-15.

Courtois P. Le traitement par pyrolyse de sols pollués // Environ. et techn. — 1995. — №146. — P. 29.

Crosby Richard. Thermal desorption unit // Pat. 5514286 (USA). Priority 22.10.1993. Published 7.05.1996.

Drainage tunnel lowers water table and relieves flooding // World Tunnel. — 2003. — 16. — №3. — P. 50-52.

Ellis B., Gorder K. Intrinsic bioremediation: an economic option for cleaning up contaminated land // Chem. and Ind. — 1997. — №3. — P. 95-99.

Frimantle. The acid test for Europe // Chemical and Engineering News. — 1995. — 73. — №18. — P. 10-17.

Fungal technology for soil decontamination // Chim. oggi. — 1994. — 12. — №7-8. — P. 80.

In situ vitrification gains ground in soil treatment // Chem. Eng. — 1994. — 101. — №11. — P. 26-27.

K.Hudel, M.Klein, F.Forge, etc. // Energie (BRD). — 1993. — 45. — №12. — S. 20-26.

Lajoie G., Layton A.C., Saylor G.S. Bioremediation process design utilizing in situ soil washing // Pat. 5618728 (USA). Priority 6.03.1995. Published 8.04.1997.

Lanoe J. Rehabilitation du sol contaminé par une ancienne raffinerie // Petrole et techn. — 1996. — №405. — P. 74-76.

Le traitement thermique de sols. Dix ans d'experience aux Pays-Bos // Courants. — 1993. — №23. — P. 24-30.

Massive Erweiterung der termischen bodensanierung bei Umweltschutz nord // Erdol-Erdgas-kohle. — 1998. — 114. — №10. — S. 470.

Metals-contaminated soil is converted into construction material // Chem. Eng. (USA). — 2002. — 109. — №7. — P. 21.

Method and device for soil purification contaminated with oils / **T.Dehrmann, D.Bege, M.Moricet, H.Gottschlich** // Application 4111868 (Germany). Priority 11.04.1991. Published 15.10.1992.

North America gets Russian technology to stability contaminated land // Chem. Eng (USA). — 1998. — 105. — №1. — P. 29.

Phytoremediation of metals / **I.Raskin, P.B.Nanda, A.Kumar, S.Douchenkov** // Pat. 5364451 (USA). Priority 4.07.1993. Published 15.11.1994.

Riese B. Thermisch reinigen // Ind.-Anz. — 1995. — 117. — №23. — S. 68, 70.

Robin D., Martin M., Haerdi W. Metaux lourds dans la sol au voisinage d'une usine d'incineration. Bilan apres 10 annees de prelevement // Arch. Sci. — 1995. — 48. — №1. — P. 19-28.

Two-stage heating removes mercury from contaminated soil and process waste // Chem. Eng (USA). — 1994. — 101. — №10. — P. 25, 27.

Wang M.-J., Jones K.C. Behavior and fate of chlorbenzenes in spiked and sewage sludge-amended soil // Environ. Sci. and Technol. — 1994. — 28. — №1. — P. 1843-1852.

Глава шестая

Аполонский С.М., Коляда Т.В., Синдаловский Г.Е. Пространственно-временная регламентация электромагнитных излучений в среде обитания человека // Пробл. ОС и ПР. — 2002. — №2. — С. 75-93.

Близнюк В.Д. Корреляционные связи между городским шумом и инфекционными заболеваниями населения // Гиг. и санит. — 2001. — №11. — С. 20-22.

Вербовой А.Ф., Бабанов С.А., Шаронова Л.А. Определение темпа биологического старения при вибрационной болезни // Гиг. и санит. — 2004. — №3. — С. 39-40.

Гвишвили Г. Магнитная буря в вагоне метро // Известия. — 1996. — №158.

Григорьев О. Электромагнитное излучение в крупных городах достигло критической черты // Известия. — 1996. — №150.

Дача под ЛЭП // Известия. — 1998. — №79.

Жигалин А.Д. Техногенные физические поля // Природа. — 1993. — №2. — С. 15-23.

Иванов Н.И. Проблемы акустического загрязнения окружающей среды // ЭКип. — 1998. — Авг. — С. 28-32.

Иванова Е.А. Методика расчета годовой эффективной дозы внешнего облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях // Атом. энергия. — 1996. — 81. — №3. — С. 236-239.

Излучения от иных военных объектов значительно превышают норму // Известия. — 14.12.1995.

Карагодина И.Л., Солдаткина С.А. Город и шум // Природа. — 1993. — №6. — С. 10-15.

Козлов В.Ф., Кухаркин Н.Е. О радиационной и экологической безопасности АЭС России. — Изв. АПЭ. — 2001. — №2. — С. 66-69.

Краткая историческая сводка по нормативным пределам газовых доз в США // Энергет. и безопасн. — 2001. — №15. — С. 9.

Ларина Г.Б. Акустическая безопасность в промышленности // Безопасность труда в пром.-сти. — 1994. — №10. — С. 23-26.

Махутов Н.А., Капитонов В.И. Металлизированные ткани для защиты от электромагнитных излучений // ЭКП России. – 2001. – Июль. – С. 18-22.

О влиянии низкоинтенсивных источников излучения на здоровье человека / **В.В.Довгуша, М.Н.Тихонов, И.Д.Кудрин** и др. // Пробл. ОС и ПР. – 1997. – №10. – С. 28-88.

Плескачева Т.Б., Чернавская Н.М., Потапов И.И. Электромагнитное поле как фактор нарушения экологического состояния окружающей среды и здоровья человека // Пробл. ОС и ПР. – 2003. – №1. – С.59-87.

Применение геоинформационных технологий при санитарном контроле магнитного поля окружающей среды / **А.Ю.Сомов, В.Э.Макаров, И.В.Пролеткина, А.Н.Чумаченко** // Гиг. и санит. – 1999. – №5. – С. 20-23.

Применение микроволновой техники в лабораторных исследованиях и промышленности // ЖПХ. – 2002. – №9. – С. 1409-1416.

Савин А. Телебашня за окном // Известия. – 1998. – №20.

Сыромятников Ю.П. Оценка дозозологических признаков воздействия постоянных магнитных полей на работающих // Гиг. и санит. – 1998. – №1. – С. 14-15.

Тихомиров Н.П., Телентинов В.Е. Экологическое нормирование и организация природоохранной деятельности на территории военных объектов // Пробл. ОС и ПР. – 1999. – №2. – С. 2-70.

Тихонов М.Н. Прогрессирующая трансформация электромагнитной среды обитания человека: взгляд в будущее // Научн. и техн. асп. ООС. – 2001. – №4. – С. 2-30.

Тихонов М.Н., Довгуша В.В., Кудрин И.Д. Защита от электромагнитных излучений // Научн. и техн. асп. ООС. – 1998. – №4. – С. 2-11.

Тихонов М.Н., Довгуша В.В., Кудрин И.Д. Эколого-эргономические аспекты совершенствования антропотехнических систем, машин и комплексов // Пробл. ОС и ПР. – 1997. – №5. – С. 108-124.

Цанева Л., Балычев Ю. Оценка влияния шума на функциональное состояние организма человека // Гиг. и санит. – 1999. – №4. – С. 18-21.

Электромагнитная среда и человек / **М.Н.Тихонов, И.Д.Кудрин, В.В.Довгуша, Л.В.Довгуша** // Пробл. ОС и ПР. – 1997. – №11. – С. 55-85.

Untersuchung zu biologischen Effecten von Ultraschall // Galvanotechnik. – 1998. – 89. – №2. – S. 562-563.

Глава седьмая

Бабкина Э.И., Сурнин В.А., Самсонов Д.П. Полигоны захоронения пестицидов как источники загрязнения окружающей среды // Научн. и техн. асп. ООС. – 2004. – №2. – С. 49-60.

Бережной А.И., Мареха В.И. Экологический мониторинг в окрестностях полигона твердых бытовых отходов (поселок Хметьево, Солнечногорский район) // Изв. АПЭ. – 2002. – №4. – С.8-13.

Вайсфельд Б.А., Шеломков А.С., Монгайт Л.И. Удаление, обезвоживание и депонирование осадков сточных вод // ВСТ. – 1999. – №8. – С. 21-22.

Вальдберг А.Ю. Очистка дымовых газов от мусоросжигательных заводов при термической переработке отходов // Научн. и техн. асп. ООС. — 1998. — №4. — С. 12-24.

Верстов В.В., Лукин В.М. Технология сбора биогаза на полигонах твердых бытовых отходов // Монтажные и спец. работы в стр.-ве. — 1994. — №9. — С. 18-20.

Гарин В.М., Хвостиков А.Г. Утилизация твердых бытовых отходов, возможные пути решения // Безопасность жизнедеят. Охрана труда и ОС. — 1998. — №2. — С. 103-105.

Грибанова Л.П., Портнова Т.Г. Контроль подземных и поверхностных вод в районах полигонов твердых бытовых отходов Московского региона // Экол. вестн. Подмосковья. — 1993. — №4. — С. 27-29.

Гухман Д. Отходы столичных производств // Энергия: экономика, технология, экология. — 1998. — №10. — С. 24-26.

Довгуша В.В., Тихонов М.Н. Опасные социально-экологические последствия военно-промышленной деятельности в мирное время // Экология пром. пр-ва. — 1996. — №2. — С. 3-19.

Иванов А.Н. Эколого-гигиеническая оценка полигона для захоронения промышленных отходов предприятия цветной металлургии по переработке вторичного сырья // Гиг. и санит. — 1993. — №8. — С. 21-24.

Иванов И.В., Пан Л.Н. Значение утилизации отходов промышленного производства в оптимизации экологического состояния окружающей среды // Геогр. и природ. ресурсы. — 1992. — №4. — С. 42-49.

Исаева Л.К., Власов А.Г. Вклад пожаров твердых бытовых отходов в состояние экологической обстановки Москвы // Экология пром. пр-ва. — 1995. — №1. — С. 31-35.

Ли С.К., Григорьев В.Я., Герливанов В.Г. Оценка экотоксикологической опасности полигонов захоронения отходов кремнийорганических производств и рекультивация загрязненных территорий // Хим. пром-сть. — 1995. — №12. — С. 44-48.

Лотош В.Е. О логических ошибках в основных понятиях закона Свердловской области «Об отходах производства и потребления» // Эколого-водохоз. вестн. — 1999. — №4. — С. 25-30.

Максимова С.В., Глушанкова И.С. Дегазация полигона твердых бытовых отходов // ЭКип России. — 2003. — Октябрь. — С. 41-43.

Максимова С.В., Глушанкова И.С., Вайсман О.Я. Моделирование процессов образования биогаза на полигонах твердых бытовых отходов // Инж. экология. — 2003. — №4. — С. 32-40.

Мусинова Н.А., Жуйкова Т.В., Тутубалина А.А. Содержание тяжелых металлов в растениях и грибах отвала горно-обогатительного комбината // Акт. Пробл. биол. и экол: мат-алы 11 Междун. НК ин-та биологии и экологии. — Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2004. — С. 191-192.

Об отходах производства и потребления: Федеральный закон Российской Федерации от 22.05.1998 // Правовые вопр. ООС: Э.И. — 1999. — №10. — С. 10-12.

Образование, окисление и эмиссия биогаза на объектах захоронения бытовых отходов / **А.Н.Ножевникова, В.С.Лебедев, Г.А.Заварзин** и др. // Ж. общ. биологии. — 1993. — №2. — С. 167-181.

Печеникова Е.В., Вашкова В.В., Можаяев Е.А. Твердые отходы и их влияние на здоровье: обзор // Гиг. и санит. — 1998. — №3. — С. 57-61.

Плющ А.В. Проблема токсичных отходов Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Сб. труд. молод. ученых СПбГИ. — 2001. — №6. — С. 124-127.

Пупырев Е.И., Вайсфельд Б.А., Перельштейн Г.Б. Санитарная очистка г. Москвы от бытовых отходов // ВСТ. — 1999. — №8. — С. 25-27.

Рис Дж., Эллис Б. Интегрированные научные и инженерные методы переработки загрязненных почв и почвенных вод // Хим. в инт. уст. разв. — 1993. — №2. — С. 281-288.

Сидельникова Л.И., Цветкова М.Р. Концептуальные подходы к решению проблем промышленной экологии: зарубежный опыт // Экология пром. пр-ва. — 1994. — №4. — С. 3-6.

Сворцов Г.А., Зайцев П.М., Классен П.В. Системы пылегазоочистки дымовых газов мусоросжигающих заводов // Хим. пром-сть. — 1995. — №12. — С. 44-47.

Термические процессы в технологиях переработки твердых бытовых отходов: аналитическая оценка и практические рекомендации / **Л.Я.Шубов, Л.Г.Федоров, Р.В.Залепухин, В.Ф.Кроткова** // Научн. и техн. асп. ООС. — 1998. — №5. — С. 33-97.

Федоров Ю.А., Карминский В.Д. Захоронение и утилизация муниципальных отходов в выработанном пространстве угольных шахт // Безопасность жизнедеят. Охрана труда и ОС. — 1998. — №2. — С. 105-107.

Чуянов Г.Г. Хвостовое хозяйство обогатительных фабрик // Изв. вуз. Горн. ж. — 1997. — №11-12. — С. 130-144.

Шершнев Е.С., Ларионов В.Г., Куркин Ю.П. Масштабы, структура и проблемы утилизации городских мусорных свалок // ЭКП. — 1999. — Февр. — С. 29-32.

Шубов Л.Я., Федоров Л.Г., Залепухин Р.В. Аналитическая, эколого-экономическая и технологическая оценка промышленных методов переработки твердых бытовых отходов мегаполиса // Научн. и техн. асп. ООС. — 1998. — №3. — С. 20-25.

Юсфин Ю.С., Черноусов П.И. Энергетически чистое производство — требование времени // Металлург. — 2000. — №1. — С. 35-37.

Binnie L.M., Binnie I.M. Holding device to high pressure clean wheelie bins with system to recycle water and dispose of waste // Pat. 677749 (Australia). Priority 15.02.1995. Published 1.05.1997.

Boeckh M. Repair with injection of waterproofing firing range for waste disposal // Chem. Ind. — 1993. — 116. — №93. — P. 43.

Case-control assessment of the short term health effect of an industrial toxic waste landfill / **A.Delorraine, D.Zmirou, C.Tillier**, etc. // Envir. Res. — 1995. — 68. — №2. — P. 124-132.

- Cavern completed // World Tunnel and Excav. – 1997. – 10. – №4. – P. 146.
- Das Verhalten von chloraromaten in Electrofiltern von Abfal-Iverbrennungsanlagen // **L.Birnbaum, K.Jav, A.Merz, H.Vogg** // Chem.-Ind.-Techn. – 1995. – 67. – №9. – S. 1178-1180.
- Felton M.K.** A snapshot of waste generation and recovery // Resour. Recycl. – 1995. – 14. – №1. – P. 50-53.
- Freestone N.P., Philips P.S., Hall R.** Having the last gas // Chem. Brit. – 1994. – 30. – №1. – P. 48-50.
- Jessen M.** Discarding idea of waste: the need for a zero waste policy now // Научн. и техн. асп. ООС. – 2005. – №1. – С. 34-122.
- Hums E., Klatt H.** Katalysator und Verfahren zur Minderung von Dioxinen im Niedertemperaturbereich // Application 0908221 ЕПВ. Priority 16.09.1997. Published 14.04.1999.
- Isleif R.** Sanierung des Sickerwassertollens der Mülldeponie Kahlenberg // Tiefbau. – 2005. – 117. – №2. – S. 84-85.
- Jaar M., Loose S.** Stand der Sickerwasserbehandlung in Deutschland // Wasser Abwasser Praxis. – 1995. – 4. – №3. – S. 63-66.
- Krampitz R., Gensel F.** Electronenstrahlen kontra Altlasten // BMT: Baumasch + Bautechn. – 1995. – 42. – №4. – S. 17-19.
- Mizier M.** Les lixiviats de decharge: des effluents difficiles a traiter // Eau, ind., nuisances. – 1998. – №217. – P. 35-40.
- Optimierte Rauchgaswerte in klinischer Mullverbrennungsanlage // Dtsch Maschinenwelt. – 1997. – 74. – №2. – S. 5-6.
- Pajonk J., Fisher S., Witzel F.** Verfahren zur Niedertemperaturminderung von Dioxinen in einen Abgas einer technischen Anlage // Application 0908222 ЕПВ. Priority 16.09.1997. Published 14.04.1999.
- Potential application de la separation solide/liquide pour la valorisation de co-product finement divises de l'industrie mineral / **G.Baudet, H.Gaboriau, A.Seron**, etc. // Mines et carriers. – 1998. – 80. – Sept. – P. 127-129.
- Trenand P.** Decharge et procedé de vitrification de dechetes // Application 2697903 (France). Priorite 12.11.1992. Publication 13.05.1993.
- Vanlaeyr S., Balaire A.** System continu de traitement des eaux par oxydation par la peroxide d'hydrogene // Application 2774675 (France). Priorite 4.12.1997. Publication 13.08.1999.
- Witzel F., Fisher S., Pagonk G.** Verfahren zur Verwertung gebrauchter Katalysatoren // Application 0908220 ЕПВ (Germany). Priority 19.09.1997. Published 14.04.1999.

Глава восьмая

Амандосов А.Т., Мессерле В.Е., Осадчий С.Ф. Моделирование радиационно-термических и динамических процессов, происходящих при захоронении радиоактивных отходов в соляных пластах // Атомн. энергия. – 1998. – 85. – №6. – С. 479-481.

Батырев А.Н., Иванов В.И., Петров С.А. Обеспечение ядерной безопасности при эксплуатации и утилизации ЯЭУ и реакторного оборудования кораблей ВМС ведущих зарубежных государств // Пробл. ОС и ПР. — 1998. — №3. — С. 2-135.

Будьков С.Т. Атомная энергетика: вчера, сегодня, завтра // География в шк. — 1993. — №5. — С. 2-6.

Бусел А.В., Ковалев Я.М. Исследование радиоактивности дорожно-строительных материалов, содержащих техногенные отходы // Изв. вуз. Стр.-во. — 1998. — №1. — С. 41-46.

Ввоз в Россию облученного ядерного топлива — зло или благо? // Изв. АПЭ. — 2001. — №3. — С. 87-96.

Величко Б.А., Кулаков В.М. Разработка способов и средств деактивации низко- и среднеактивных жидких отходов // Экология пром. пр-ва. — 1997. — №1-2. — С. 15-19.

Вергман А.А. Обезвреживание и утилизация металлических радиоактивных отходов // Metallurg. — 2001. — №2. — С. 30-32.

Довгуша В.В., Тихонов М.Н. Концепция радиационно-экологически безопасного промышленного способа комплексной утилизации снятых с эксплуатации атомных подводных лодок // Научн. и техн. асп. ООС. — 1997. — №4. — С. 76-106.

Довгуша В.В., Тихонов М.Н. О потенциальной ядерной и радиационной опасности при комплексной утилизации атомных подводных лодок и судов с ядерными энергетическими установками // Пробл. ОС и ПР. — 2001. — №12. — С. 74-93.

Довгуша В.В., Тихонов М.Н. О проблеме радиационной безопасности и последствиях захоронения радиоактивных отходов в моря и океаны // Экология пром. пр-ва. — 1994. — №1. — С. 10-19.

Довгуша В.В., Тихонов М.Н. Обеспечение экологической безопасности при обращении с радиоактивными отходами на ядерно и радиационно опасных объектах Российской Федерации // Научн. и техн. асп. ООС. — 1997. — №2. — С. 17-50.

Довгуша В.В., Тихонов М.Н. Опасные социально-экологические последствия военно-промышленной деятельности в мирное время // Экология пром. пр-ва. — 1996. — №2. — С. 3-19.

Довгуша В.В., Тихонов М.Н. Утилизация атомных подводных лодок и судов с ядерными энергетическими установками // ЭКП России. — 2003. — Май. — С. 33-38.

Довгуша В.В., Тихонов М.Н., Бляхер А.Я. Концепция экологически безопасной технологической утилизации снятых с эксплуатации атомных подводных лодок // Научн. и техн. асп. ООС. — 1998. — №4. — С. 77-84.

Израэль Ю.А., Цыбань А.В., Вакуловский С.М. Радиоактивное загрязнение морей и океанов // Метеорология и гидрология. — 1994. — №10. — С. 15-23.

Ильенко Е.И., Царицина Л.Г. Нормативно-правовая база и критерии безопасности захоронения отходов, принятые при проектировании могильника WLPР (США) // Экон. природопольз. — 2004. — №1. — С. 78-79.

Кедровский О.Л., Литинский Ю.В., Обливанцев Д.Ю. Длительное хранение ОЯТ от РБМК в глубинных скважинах большого диаметра с трехслойной сталебетонной оболочкой // Научн. и техн. асп. ООС. — 2002. — №3. — С. 71-74.

Кривохатский А.С. Проблема радиоактивных отходов // Природа. — 1989. — №5. — С. 50-60.

Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Атомная энергетика и биосфера // Вестн. АН СССР. — 1991. — №2. — С. 39-52.

Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Экологические проблемы обеспечения безопасности при обращении с радиоактивными отходами // Изв. АПЭ. — 1999. — №2. — С. 43-46.

Лапочкин В.К. Экологические требования к массивам горных пород для безопасного захоронения твердых высокоактивных отходов // Экология пром. пр-ва. — 1997. — №1-2. — С. 10-15.

Методология и практические примеры выбора площадки для захоронения твердых радиоактивных отходов в геологических формациях / **В.В.Лопатин, Е.Н.Камнев, Н.Ф.Лобанов** и др. // Пробл. ОС и ПР. — 1997. — №6. — С. 49-122.

О минимизации экологического риска при выборе места для могильника высокоактивных отходов в геологической среде / **Б.Т.Кочкин, Б.И.Омельяненко, В.А.Петров, С.В.Юдинцев** // Пробл. ОС и ПР. — 1994. — №11. — С. 1-17.

Обезвреживание промышленных стоков / **М.Г. Штуца, В.Б. Филиппов, М.Л. Медведева, Б.Г. Ершов** // ЭКП России. — 2003. — Май. — С. 11-14.

Огородников Б.И. Обедненный уран в окружающей среде на территории Косова после окончания войны на Балканах // Пробл. ОС и ПР. — 2005. — №9. — С. 39-47.

Переработка жидких радиоактивных отходов, образующихся в результате ремонта и утилизации атомных подводных лодок / **В.Р. Корб, Е.М. Тимофеев, В.Д.Адамович** и др. // ЭКП России. — 2003. — Авг. — С. 4-7.

Петрографические критерии выбора геологической среды для захоронения высокоактивных отходов / **Б.И.Омельяненко, В.А.Петров, С.В.Юдинцев** и др. // Пробл. ОС и ПР. — 1994. — №1. — С. 17-27.

Поляков А.С. Обращение с радиоактивными отходами: состояние, проблемы, исследования // Рос. хим. ж. — 1996. — 40. — №6. — С. 26-35.

Радиоактивное загрязнение почвенного покрова ряда курортных районов ЕТС, обусловленное аварией на ЧАЭС / **С.Г.Малахов, А.Н.Силантьев, И.Г.Шкуратова** и др. // Метеорология и гидрология. — 1991. — №1. — С. 61-64.

Рябчиков А.М. Возможные экологические последствия ядерной войны // Вестн. МГУ. Сер. география. — 1987. — №3. — С. 18-25.

Савченко В.К. Чернобыльская катастрофа и биосфера // Природа и ресурсы. — 1991. — 27. — №3. — С. 91-100.

Соболев И.А., Турлак Е.А., Юрлова М.А. Становление федеральной системы обезвреживания радиоактивных отходов // Вестн. РАН. — 1995. — 65. — №1. — С. 24-28.

Способ сжигания твердых радиоактивных отходов, включающих хлорсодержащие полимерные материалы и биологические объекты / **Т.И.Весендина, С.А.Дмитриева, М.И.Ожован** и др.: Пат. 2086032 РФ от 16.11.1995 // Б. И. — 1997. — №21.

Способ совместного цементирования радиоактивных грунтов, содержащих органические компоненты, и жидких радиоактивных отходов / **И.А.Соболев, А.С.Баринев, Ф.А.Лифанов** и др.: Заявка 97118024/25 РФ от 27.10.1997 // Б. И. — 1998. — №8.

- Стопалов С.Г.** Транспортировка и хранение радиоактивных отходов и отработанного топлива // Пробл. ОС и ПР. — 1990. — №3. — С. 113-146.
- Тихонов М.Н., Муратов О.Э., Рылов М.И.** К вопросу о техногенном радиационном риске и страховании при комплексной утилизации АПЛ и судов с ЯЭУ // Научн. и техн. асп. ООС. — 2003. — №1. — С. 54-70.
- Тихонов М.Н., Муратов Э.Л.** Ядерная энергия: постижение реальности и взгляд в будущее // Пробл. ОС и ПР. — 2005. — №7. — С. 43-90.
- Трунова Н.А., Бакланов А.Е., Ларионов С.Ю.** Очистка радиоактивных сточных вод // Энергосбереж. и водоподгот. — 1997. — №3. — С. 56-63.
- Установки отверждения жидких отходов низкого и среднего уровня активности / **В.И.Давыдов, В.В.Костин, Л.Н.Савин** и др. // Атомн. энергия. — 1995. — 79. — №6. — С. 429-433.
- Характеристика шлакового продукта плазменной печи для переработки несортированных твердых радиоактивных отходов / **С.А.Дмитриев, С.В.Стефановский, И.А.Князев, Ф.А.Лифанов** // Пробл. ОС и ПР. — 1995. — №2. — С. 1-19.
- Чемерис Н.В.** Опыт создания и эксплуатации хранилища РАО курганного типа // АНРИ. — 1998. — №2. — С. 31-36.
- Шишиц И.Ю.** Обзор методов изоляции отработанного топлива в геологических формациях // Научн. и техн. асп. ООС. — 1997. — №6. — С. 71-95.
- Шишиц И.Ю.** Типы подземных могильников твердых и отвержденных радиоактивных отходов // Научн. и техн. асп. ООС. — 1997. — №5. — С. 50-118.
- Шмелев С., Белянчев А.** Вошли в противоречие интересы Русской православной церкви и атомной промышленности страны // Известия. — 1994. — 22 июня.
- Экологически безопасная локализация отходов радиоактивных щелочных металлов в щелочных вяжущих / **П.В.Кривенко, Ж.В.Скурчинская, Л.В.Лавриненко** и др. // Цемент. — 1993. — №3. — С. 31-33.
- Яблоков А.В.** Ядерная мифология конца XX века // Новый мир. — 1995. — №2. — С. 90-107.
- Якушев М.Ф.** Обеспечение долговременного хранения радиоактивных отходов в Ленинградской области // Экол. вести. — 2003. — №6. — С. 9-13.
- Actinide analysis of a depleted uranium penetrator from a 1999 target site in southern Serbia / **McLaughlin J.P., Leon V.L., Smith K.J.** etc // Environ. Radioact. — 2003. — 64. — №2-3. — P. 155-165.
- Analysis of subterranean depository safety of radioactive waste with low and medium activity after its disposal / **I.Vienno, H.Nordman, V.Taivassalo, M.Nykyri** // Radioact. Waste Manag. and Nucl. Fuel Cycle. — 1993. — 17. — №2. — P. 139-159.
- Answer to your questions on high-level nuclear waste. Prepared by U.S.Department of energy office of Civilian Radioactive Waste Management // Washington D.C. 20585. Цит. по: Научн. и техн. асп. ООС. — 1998. — №4. — С. 84-117.
- Bleise A., Danesi P.R., Burkart W.J.** Properties, use and health effects of depleted uranium (DU): a general overview // Environ. radioact. — 2003. — 64. — №2-3. — P. 93-112.
- Bux M., Baumann R.** Solare trocknung von Klärschlamm // Abwasser, Abfall. — 2003. — 50. — №6. — С. 732-734, 736-739.

Chu M.S. The US nuclear waste management programme. The path forward to license application for a geological repository at Yucca Mountain // *Issues and Trends in Radioactive Waste Management*. – Vienna: IAEA. – 2003. – p. 235-240.

Clean up of DOE sites to costs at least 230 billion // *Nucl. News (USA)*. – 1995. – 38. – №7. – p. 35.

Crunes licht fur Endlager Konrad // *Erzmetall*. – 1998. – 51. – №1. – S. 15.

Danilian V.A., Vysotsky V.A. Nuclear waste disposal practices in Russia's Pacific Ocean region // *Arct. Res. USA*. – 1995. – №9 (Fall-Winter). – p. 84-87.

Exploration on construction of radioactive waste disposal in geologic structures / **B.Mouroux, M.Raynal, E.Scotte de Martinville**, etc. // *RGN Int. Ed.* – 1993. – June. – p. 22-27.

Gonzalez G.J.L., Marchal C.E. The transport of low and intermediate level waste from Spanish nuclear facilities // *Int. J. Radioact. Mater. transp.* – 1996. – 7. – №1. – p. 19-22.

Hollwedel U., Bege D. Produkt zur Endlagerung radioaktiv kontaminiertes Ionen-austauscherharze // *Application 19797982 (Germany)*. Priority 27.02.1997. Published 3.09.1998.

Jack P., Masse J.-C., Tremillon I. Compactage de dechets metallogenes susceptible de s'enflammer et/ou d'explorer // *Application 2700295 (France)*. Priorite 14.01.1993. Publication 13.07.1994.

Larson K.W. Development of the conceptual models for chemical conditions and hydrology used in the 1996 performance assessment for the Waste Isolation Pilot plant // *Rel. Eng. and Syst. Safety*. – 2000. – 69. – №1-3. – p. 59-86.

Macilvain C. Out of sight, out of mind // *Nature (Gr. Brit)*. – 2001. – 412. – №6850. – p. 850-852.

Production and BOF recycling of waste oxide briquettes at inland steel / **S.R.Balajec, P.E.Callaways, L.M.Keilman**, etc. // *Iron and steelmaker*. – 1995. – 22. – №8. – p. 11-21.

Radioactive and nonradioactive waste intended for disposal at the Waste isolation Pilot Plant // *Rel. Eng. and Syst. Safety*. – 2000. – 69. – №1-3. – p. 99-107.

Solidifying materials for radioactive waste disposal, structures made of said materials for radioactive waste disposal and process for solidifying of radioactive wastes / **T.Nishi, M.Matsuda, I.Komori**, etc. // *Pat. 5256338 (USA)*. Priority 28.11.1990. Publication 26.10.1993.

Triay J., Matthews M.L., Eriksson L.G. Progress in long-lived radioactive waste management and disposal at the waste isolation pilot plant // *Global 2000: Intern. Conf. on: «Back-End of the Fuel Cycle: From Research to solutions*. – Paris: Book of abstracts. – Vol 1. – 2001. – p. 289-291.

Zeolite cleans up nuclear waste // *Chem. Eng. (USA)*. – 1994. – 101. – №11. – p. 27.