

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 ($\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$), среднесуточные вредных веществ в воздухе населенных мест ($\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$), вредных веществ в воздухе рабочей зоны ($\text{ПДК}_{\text{р.з.}}$). Все они измеряются массой загрязняющего вещества в единице объема воздуха (мг/м^3) при нормальных условиях (давление 1 атм, температура 0°C).

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воздухе населенных 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.

$\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$ — это концентрация, не вызывающая рефлекторных реакций в организме человека (ощущение запаха, световая чувствительность, изменение биоэлектрической активности головного мозга и т.п.). $\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$ — 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.

$\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$ — 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 устанавливается *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-бальной 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 P , учитывающему характер комбинированного воздействия различных веществ и их класс опасности (*Инженерная...*):

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

где $K_i = C_i / \text{ПДК}_{\text{с.с.}}$, 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 P позволяет оценить уровень загрязнения атмосферы в зависимости от числа загрязнителей (табл. 2.2).

Табл. 2.2

Связь уровня загрязнения атмосферного воздуха с показателем P

Уровень загрязнения	P			
	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 $\text{ПДК}_{\text{с.с.}}$ и приведенных к концентрации диоксида серы средних содержаний различных веществ:

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

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

q_{cpi} — средняя концентрация i -го вещества;

$ПДК_{cci}$ — $ПДК_{cc}$ 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 $\text{ПДК}_в$ могут быть рассчитаны $\text{ВДК}_в$ (*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 :

$$\text{ПХЗ} - 10 = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_{10}}{\text{ПДК}_{10}}, \quad (2.10)$$

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 $\text{мгO}_2/\text{л}$ 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°C (БПК_5).

$\text{БПК}_{\text{полн}}$ — 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 четыреххло- ристый	—	—	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 пяти-балльной 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 (MW) 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 MW
Оксид фосфора P ₂ O ₅	200 по ФА	Хром	0,6 по ОС
Отход флотации угля	3000 по ОС, MW	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_c 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_{ci} — 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 устанавливают 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:

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

Определение $ЛД$ см. в разд. 2.4.

Уравнение (2.14) имеет коэффициент корреляции 0,7.

2.2.6. Другие вещества

Наряду с выше рассмотренными 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) устанавливают 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).

Таблица 2.9

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

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 LD₅₀ и LD_{50K});

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

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

$З_{ост}$ — зона острого действия, определяемая как отношение $ЛК_{50}$ к $ПК_{ост}$;

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

$З_{хр}$ — зона хронического действия, определяемая как отношение $ПК_{ост}$ к $ПК_{хр}$;

$ПК_{хр}$ — 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
$ЛК_{50}$, мг/л	0,5	0,5-5	5-50	50
$КВИО$	> 300	300-30	30-3	< 3
$З_{ост}$	< 6	6-18	18-54	> 54
$З_{хр}$	> 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 состоит 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.

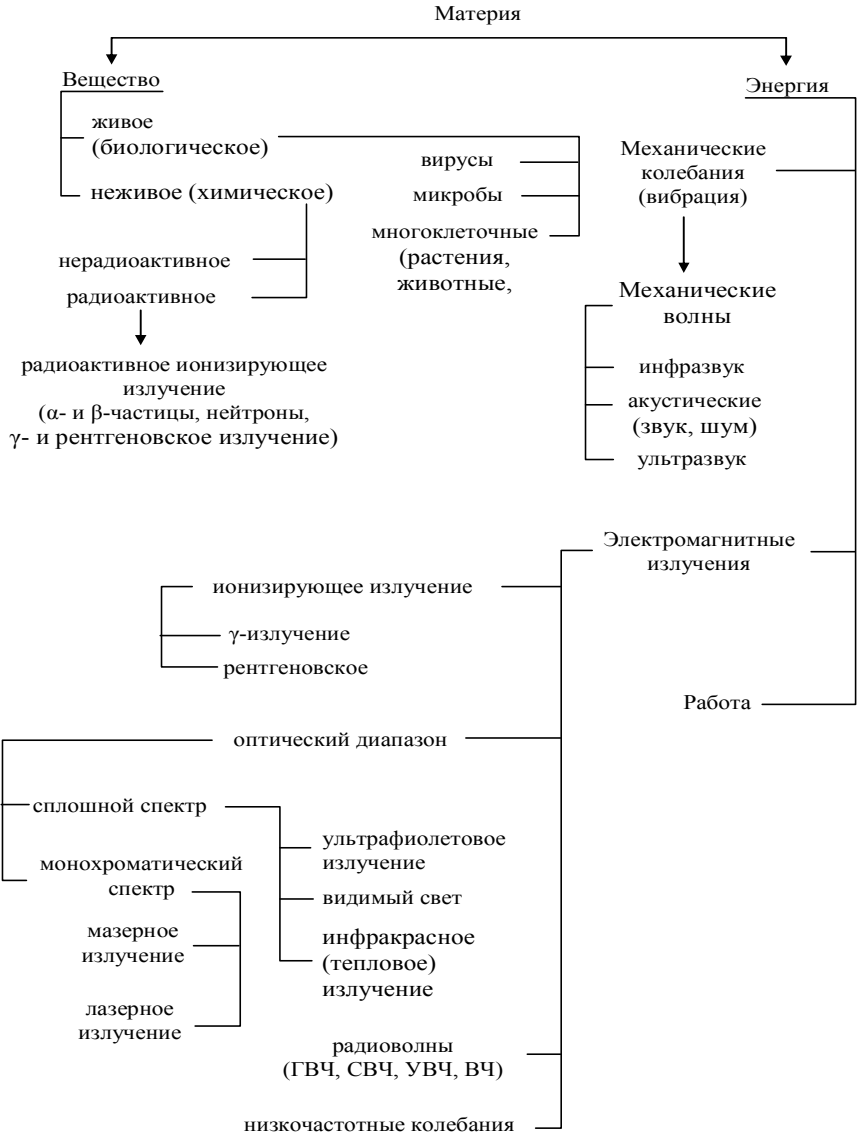


Рис. 2.1. Виды материальных субстанций, оказывающих влияние на окружающую среду

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 результатами 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 сравнивать, 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, mg/m^3

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
Монооксид 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 слизистых оболочек, 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/м^3) 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/м^3 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/м^3 . 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, неоном 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 кисловатых 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 Елисевой, 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 раздражение 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% SiO_2 .

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. Сажка — 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 сажка 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 сажка 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 углеводов. 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 неутилизованных ртутьсодержащих приборов и т.п.

Из атмосферы ртуть 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 неблагополучных 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, сопровождаемое 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.

Физические характеристики аэрозолей тяжелых металлов
(Ровинский)

Таблица 2.12

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	0,8	—	0,4-0,6	0,9	0,3-0,7	0,5-0,7	—
от места выброса							
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 контактными 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 привлекали 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*	—	—	—

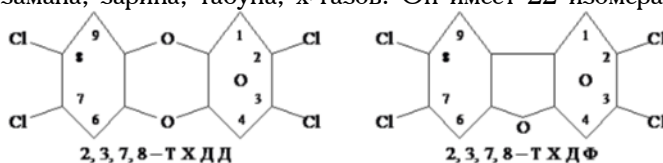
Примечание. *ПДК_{с.с} радона выражены в Бк/м³.

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 бромированный — в 1959 г. в Японии.

Наиболее опасен 2,3,7,8-ТХДД (тетрахлордибензо-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 $\sum[D_i \cdot \text{ЭТ}]$, 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 приходится, 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 концентраций 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 особенную 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). Свое 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 $C_{20}H_{12}$ — твердое 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 твердого. 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 надежным 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).