

Техногенные системы и экологический риск

Все вы прекрасно знаете, что в последнее время, в связи с бурным ростом населения планеты и развитием промышленности, происходит ухудшение экологического состояния окружающей среды, что грозит безопасности людей.

В настоящее время экологическая безопасность рассматривается как состояние защищенности от экологических угроз и включает в себя несколько уровней (индивидуальный, объектовый, локальный, региональный, государственный, межгосударственный и глобальный).

Естественно, что экологическая безопасность может быть достигнута лишь путем охраны ОПС, причем ОПС должна рассматриваться как эколого-экономическая система в целом. При этом особое внимание уделяется угрозам безопасности, возникающим при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера. Обеспечение устойчивого развития цивилизации в рамках концепции экологической безопасности основано на научных исследованиях, позволяющих произвести оценку риска, или, другими словами, выполнить анализ безопасности. Это и есть новый подход в решении проблем экологической безопасности.

До недавнего времени оценка риска производилась лишь на уровнях методов достижения технически и экономически оправданных уровней безопасности техногенных систем (оборудования и промышленных объектов в целом), а требование о проведении оценки воздействия на ОС на всех стадиях проектирования и государственной экологической экспертизы проектов и всех видов хозяйственной деятельности стало практиковаться совсем недавно и, хотя и закреплено законодательно более десяти лет назад, но все еще требует проработки. Практически реализация этих требований сводится к сравнению уровней техногенного воздействия с нормативами предельно допустимых выбросов и сбросов, уровней воздействия физических факторов и т.п., что явно недостаточно для достижения целей экологической безопасности.

Принятая в настоящее время большинством государств концепция экологической безопасности основана на допущении, что безопасность человека, общества и природы задает допустимое технологическое пространство, характеризующееся определенным уровнем воздействия, а не наоборот. Не нужды экономики и техники приоритетны, приоритетны вопросы устойчивого развития общества. Вместе с тем следует учитывать невозможность достижения «нулевого риска».

Подобная трактовка проблемы требует системного подхода, учета инженерных, экономических, социальных и экологических факторов.

Курс «Техногенные системы и экологический риск» направлен на формирование базовых представлений об экологической опасности и методах оценки риска, а также управления им в системе экологической безопасности.

Необходимость именно системного подхода к вопросу об экологической безопасности вызывает необходимость рассмотрения ОС как системы, которая функционирует по своим законам, имеет свои защитные механизмы, обеспечивающие ее устойчивость.

ОС представляет собой совокупность природной среды и всего того, что в нее внесено человеком, взаимодействует с сугубо естественными образованиями, факторами и процессами, слилось воедино и составляет с теми, другими и третьими целостное окружение и воздействует на его здоровье, условия жизни и хозяйственной деятельности.

ОС, с точки зрения удовлетворения потребности человека, неоднородна и подразделяется по своим функциям на:

- а) продуктивную среду жизнеобеспечения, выполняющую функцию обеспечения продуктами питания и иными материальными ресурсами;
- б) протективную среду жизнеобеспечения, выполняющую защитную роль буферов в круговороте вещества;
- в) среду переработки отходов, подвергающуюся сильной антропогенной нагрузке и выполняющую роль ассимиляторов большинства отходов;
- г) городскую и промышленную среду с гетеротрофными небиологическими системами промышленно-городского типа.

Природная среда (ПС), уже по самому своему определению, включает в себя атмосферу, гидросферу, литосферу, биосферу, строение и свойства которых вы уже хорошо знаете.

В ПС можно выделить части (блоки) разных величин:

- глобальный – самые крупные части (материки, океаны, климатические пояса):

- региональный – крупные регионы, обособление которых связано с действием гео-динамических и макроклиматических факторов (физико-географические области, природные зоны и ландшафтные области);
- локальный – небольшие территории, обособленные влиянием мезорельефа и гидро-климатических различий;

В сфере хозяйственной деятельности человека оказываются прежде всего системы регионального и локального уровней. Они испытывают наиболее сильные антропогенные нагрузки и связанные с ними изменения ПС.

Структура и свойства природных систем

ПС – это сложные пространственно-временные образования. Они характеризуются наличием природных компонентов, соподчиненных комплексов более низкого ранга, тесных взаимосвязей между компонентами и комплексами системы. *Совокупность наиболее устойчивых связей между компонентами и соподчиненными комплексами* получило название **структуры**. Различают пространственную и временную структуру. Первая рассматривается как порядок расположения составных частей ПС, их соотношение и характер взаимосвязей между ними по горизонтали и вертикали. Временная структура проявляется в виде сезонной ритмики и многолетней перестройки связей. Изучение структуры позволяет определить инвариантные (т.е. самые устойчивые) свойства ПС и дать оценку их нарушенности в результате антропогенного воздействия.

С понятием «структура» связаны современные представления о целостности, устойчивости и изменчивости ПС.

Целостность – это внутреннее единство системы, обусловленное тесными взаимосвязями между ее составными частями. Благодаря взаимосвязям, изменение одних компонентов природы неизбежно ведет к изменению других, что в конечном итоге может привести к перестройке всей структуры. У геосистем целостность выражается в проявлении свойств, не присущих их отдельным компонентам (например, способности продуцировать биомассу), относительной автономности, наличии объективных естественных границ, большей тесноте внутренних связей по сравнению с внешними.

Устойчивость – свойство ПС сохранять или восстанавливать свою структуру и функции при воздействии внешних (в т.ч. антропогенных) факторов. Она характеризует способность систем нормально функционировать в определенном диапазоне значений физико-географических условий и техногенных нагрузок. В общем плане устойчивость зависит от инвариантных свойств гео- и экокомплексов, их ранга, а также от интенсивности и продолжительности действия внешнего фактора. Поскольку разные системы и разные их компоненты по-разному реагируют на разные воздействия, то устойчивость системы приходится рассматривать по отношению к каждому фактору отдельно, так что число возможных ситуаций оказывается весьма значительным. В каждой конкретной ситуации механизмы устойчивости и ее порог имеют свои особенности и в каждом случае следует искать как «слабое звено», так и рычаги стабилизации.

Представление об устойчивости тесно связано с понятием состояния. **Состояние системы** – характеристика ее важнейших свойств за определенный более или менее длительный промежуток времени.

М.Д.Гродзинский выделил три формы проявления устойчивости ПС:

а) инертность – способность ПС сохранять свое исходное (или близкое к нему) состояние в течение заданного временного интервала;

б) восстанавливаемость – способность за определенный промежуток времени возвращаться в исходное (или близкое к нему) состояние после выхода из него в результате действия внешнего фактора;

в) пластичность – наличие нескольких устойчивых состояний и способность ПС при внешнем воздействии переходить из одного состояния в другое, сохраняя свои инвариантные свойства.

На основе представлений об устойчивости и состоянии ПС сформулировано понятие «устойчивое состояние ПС». **Устойчивое состояние ПС** – такое состояние ПС, к которому она самопроизвольно возвращается, будучи выведена из него внешними силами. В естественных условиях это состояние поддерживается за счет механизма саморегуляции.

В отличие от устойчивости **изменчивость природных систем** рассматривается как способность под действием внешних и внутренних сил переходить из одного состояния в другое. Среди компонентов ПС наиболее подвержены изменению атмосферный воздух и воды,

наибольшей устойчивостью обладают горные породы и рельеф, промежуточное положение занимают биота и почвы.

По глубине трансформации ПС различают изменения в ходе функционирования, динамики и развития.

Функционирование – это совокупность процессов передачи и превращения вещества и энергии в системе, поддерживающих ее в определенном состоянии. В результате этих процессов происходят небольшие количественные изменения компонентов природы, которые обычно имеют ритмический характер.

Динамика – направленные изменения ПС, которые совершаются в рамках ее структуры и носят обратимый характер. К ним можно отнести сукцессии экосистем, восстановительные смены их состояний и другие. В процессе динамики происходят более глубокие изменения, чем при функционировании, но и они не ведут к качественной перестройке структуры, а лишь подготавливают ее.

Развитие (эволюция) – необратимые направленные изменения ПС, ведущие к коренной перестройке ее структуры. Оно выражается в качественном преобразовании компонентов природы и формировании новых ландшафтов, что связано как с внешним воздействием, так и с внутренними причинами (саморазвитие).

Формирование структуры и функционирование ПС осуществляется путем постоянного обмена энергией и веществом между отдельными ее компонентами, что проявляется:

- во-первых, в усвоении абиотических (неорганических) факторов среды (солнечная энергия, вода, минеральные вещества и т.д.);
- во-вторых, в биотических, или органических факторах посредством тех трофических связей, которые существуют между разными живыми системами.

Функционирование и эволюция ПС зависят не только от круговорота вещества и энергии, но и от того, как регулируются и управляются эти круговороты, а это требует установления **информационных связей** между различными подсистемами и элементами системы. Связи могут быть прямыми (воздействие передаётся с выхода одной системы на вход другой) и обратными (воздействие передаётся назад по цепочке связей с выхода системы на её вход). Обратные связи разделяют на положительные и отрицательные. При положительной обратной связи выходной импульс усиливает воздействие на входе, что часто нарушает равновесие в системе (например, при образовании лавин). При отрицательной обратной связи выходной импульс ослабляет действие входного сигнала и обычно ведёт к стабилизации системы (например, уменьшение стока в озеро сокращает площадь его зеркала, а тем самым и величину испарения, что восстанавливает его водный баланс). Отрицательные обратные связи выступают в качестве «рычага» саморегулирования ПС и, следовательно, определяют их устойчивость и структуру.

Саморегулирование – способность систем без вмешательства извне поддерживать своё состояние, несмотря на изменение внешних факторов (например, сохранение биогеоценозом одного уровня продуктивности в разные по погодным условиям годы). Саморегулирование осуществляется до тех пор, пока процессы, протекающие в ПС, способны нейтрализовать нежелательные воздействия. Если защитные механизмы истощаются, она либо разрушается, либо должна изменить свою структуру.

Благодаря саморегулированию ПС могут поддерживать экологическое равновесие – сбалансированное соотношение между приходом и расходом вещества и энергии.

Наиболее важными и по существу решающими связями в ПС являются энергетические связи. В ПС происходит преобразование рассеянной в пространстве солнечной энергии в более концентрированные её формы сначала автотрофными растениями, а затем гетеротрофными животными и человеком.

С экологической точки зрения, энергия по способу своего получения будет тем концентрированнее, чем дальше отстоит источник её получения от начала превращения рассеянной солнечной энергии, т.е. от автотрофных организмов, а именно зеленых растений.

Таким образом, с энергетической точки зрения системы могут описываться не только количественно, но и качественно. Более качественными будут считаться более концентрированные формы энергии, которые обладают более высоким рабочим потенциалом, т.е. возможностью произвести соответствующую работу. Так, например, ископаемое топливо обладает большим рабочим потенциалом, чем рассеянная солнечная энергия. Аналогично этому животная пища является более качественной, чем растительная.

Законы функционирования ПС

Только что нами рассмотрены в общих чертах строение, функционирование, существующие формы связей между отдельными частями ПС.

Сейчас более подробно остановимся на некоторых из них с целью выявления наиболее слабых звеньев этих систем, воздействуя на которые человек вольно или невольно может вызвать изменения в ПС.

Как уже отмечалось, основой функционирования ПС являются энергетические и вещественные связи. Вещество в ПС движется по замкнутому кругу. В масштабах биосферы все виды циклического движения вещества разделяются на два типа круговорота: **геологический (большой) и биологический (малый)**, которые взаимно перекрываются, формируя **биогеохимический круговорот**.

На пути от автотрофов к гетеротрофам питательные элементы могут попадать в так называемые *резервные фонды*, своеобразные отстойники. Вещества здесь малоподвижны и проходят лишь минеральные превращения, не связанные с живой материей. Такими резервными фондами являются, например, залежи угля, отложения карбонатных пород на дне моря. Резервными фондами можно считать также запасы древесины в лесных экосистемах, залежи торфа, лесную подстилку, перегной, запасы углерода в форме углекислоты в атмосфере, гидросфере, почве, растворённые в водах химические элементы, сами воды.

В границах резервного фонда можно выделить массу вещества, как правило сосредоточенную в высокоподвижных геосферах, легкодоступную живым организмам. Такую массу вещества, входящего в биологические цепи, например, тот же углерод, называют *обменным фондом*. Здесь потоки вещества движутся значительно энергичнее, чем в остальной части резервных фондов. В целом, резервные фонды значительно больше по объёму, по массе, чем обменные.

Однако и резервные фонды по скорости движения в них вещества и стабильности неоднородны. Резервные фонды атмосферы и гидросферы обычно легко доступны, вещество из них легко извлекается и так же легко в них возвращается, поэтому происходящие здесь процессы отличаются относительной стабильностью. Значительно труднее извлекается вещество из фонда осадочного цикла (из литосферы). Поэтому идущие с участием этого фонда процессы менее активны, неустойчивы. Здесь поступление в резерв идёт более быстрыми темпами, чем извлечение из него. Процесс извлечения и возврата вещества в резервные фонды является частью биогеохимических циклов.

В процессе эволюции биогеохимические циклы приобрели почти замкнутый, круговой характер. Благодаря этому поддерживается известное постоянство, динамическое равновесие состава, количества и концентрации вовлечённых в круговорот веществ. За счёт неполной замкнутости биологического круговорота в атмосфере накапливается азот, кислород, в земной коре – соединения углерода (нефть, уголь, газ), в океане – различные соли.

Благодаря высокой подвижности атмосферы и наличию в ней большого обменного фонда, некоторые круговороты (кислорода, углерода, азота) обладают способностью быстрой саморегуляции. Например, образовавшиеся локальные скопления углекислого газа быстро рассеиваются и более быстро поглощаются растительностью.

Круговороты, идущие в режиме осадочных циклов (обороты серы, фосфора, железа), менее активны и мало регулируемы. Основная масса этих веществ сосредотачивается в малоподвижной литосфере.

Наибольшее значение имеют круговороты кислорода, воды, углевода, азота, серы и фосфора. Эти круговороты очень разнообразны по своей природе, масштабам, кинетике, по значимости для живого вещества. Существенно, что все эти круговороты сбалансированы, с одной стороны, между собой, с другой – с другими круговоротами, менее известными, менее значимыми.

Геологический круговорот протекает медленно. Границы его выходят за пределы биосферы. Биологическое вещество в этом круговороте уходит на задний план. Масса его по сравнению с массой геологического вещества ничтожна. Биологический круговорот более скоротечен. Здесь на первый план выходят подвижные вещества, входящие в живую материю, в органику.

В основном геологический круговорот – это круговорот с вовлечением вещества, входящего в резервные фонды литосферы, а биологический – с участием легко доступных резервных и обменных фондов атмосферы и гидросферы.

Как для геологического, так и биологического круговоротов характерна необратимость. В них обязательно привносятся новые элементы, новые условия, иные ритмы и звенья циклов. Постоянно накапливаясь, эти различия с каждым новым циклом приводят к заметным измене-

ниям даже в биологических системах. Часть элементов периодически выпадает из круговорота, задерживается на то или иное время в тупиках, что приводит к развитию биосферы.

Итак, функционирование ПС – есть циклическое движение вещества при постоянном притоке внешней энергии. В процессе этого движения устанавливается динамическое равновесие между различными компонентами ПС. Любое воздействие на любой из этих компонентов или циклов может быть причиной выхода системы из этого равновесия. Понятно, что наиболее быстро на такое воздействие будут реагировать те подсистемы ПС, которые обладают наибольшей скоростью циклических обменов, т.е. системы низшего ранга (например, экосистема, атмосфера, гидросфера). Возникшее в них возмущение будет передаваться с затуханием системам более высокого ранга, и в конечном итоге ПС в целом.

Реакция ПС и отдельных её компонентов (например, экосистем) на воздействие извне зависит во многом от характера воздействия: интенсивности, амплитуды, скорости нарастания нагрузки. Понятно, что более энергичное воздействие вызовет и более активный её отклик, а превышение интенсивности этим воздействием некоего порога (*предела толерантности*) приведёт к угнетению системы. Отсюда вытекает вывод о том, что *обязательным условием сохранения устойчивости ПС является необходимость достаточно медленных изменений параметров среды. Время изменения внешних условий должно быть существенно больше времени релаксации системы, т.е. времени, которое необходимо для восстановления равновесия системы после тех или иных внешних возмущений.*

В существовании любой системы бывает **критическое состояние** – *состояние, в котором происходит качественная перестройка системы*: изменение структуры (замена отдельных компонентов на новые; полная замена компонентов; изменение связей и потоков вещества; изменение реакции на внешний раздражитель), полное изменение поведения и саморазвития.

Переход ПС в критическое состояние ведёт к подрыву существующего природно-ресурсного потенциала, что неизбежно скажется на жизни человека, поэтому поддержание или восстановление равновесного состояния ПС является одной из предпосылок рационального использования и охраны природных ресурсов.

Социально-экономические функции и потенциал природных систем

Рассмотренные свойства ПС определяют условия использования этих систем в хозяйственной деятельности человека. Их использование позволяет удовлетворять различные потребности общества. В связи с этим возникло представление о социально-экономических функциях ПС. **Социально-экономическими функциями ПС называют удовлетворение ими материальных, экологических и других потребностей людей в процессе взаимодействия общества и природы.** Исходя из этого природные комплексы могут рассматриваться как:

- ресурсосодержащие и ресурсовоспроизводящие системы, располагающие возобновимыми и невозобновимыми ресурсами и способные воспроизводить биоту, почвенное плодородие и частично воду;
- средообразующие и средовоспроизводящие системы, которые поддерживают необходимые для человека условия жизни и выступают как среда для отдыха и восстановления здоровья населения;
- пространственный базис, место размещения хозяйственной деятельности и расселения людей;
- приоохранные системы, сохраняющие экологическое разнообразие в природе;
- системы, способные трансформировать и разлагать загрязнения в виде отходов производства и тем самым предотвращать или ослаблять негативные последствия для жизни и деятельности человека;
- природная лаборатория для изучения механизмов взаимосвязей между биотическими и абиотическими компонентами геосистем с целью разработки путей рационального использования богатств природы.

ПС в большинстве случаев полифункциональны, т.е. они могут выполнять несколько функций одновременно. Вместе с тем существуют и взаимоисключающие потребности, приводящие к ограничению числа выполняемых функций (например, застройка территории исключает возможность развития земледелия). В ряде случаев возможность выполнения функций данной ПС зависит от характера использования смежных, а иногда и весьма удалённых комплексов.

Выполнение ПС социально-экономических функций зависит от:

- а) потенциала системы;
- б) деятельности человека по использованию этого потенциала.

Потенциал ПС определяется как предельный запас производственных и экологических ресурсов ландшафтов, который можно использовать без существенного нарушения их свойств и функций.

Производственные ресурсы – это компоненты и элементы природы, используемые в процессе материального производства (биота, земли, воды и т.д.).

Экологические ресурсы – средообразующие компоненты ПС (рекреационные, лечебные, эстетические и др.).

В потенциале ПС выделяют частичные потенциалы: биотический, водный, минерально-ресурсный, строительный, рекреационный, природоохранный, потенциал самоочищения.

Биотический потенциал понимается как способность гео- и экосистем производить биомассу, создавать условия для постоянного повторения этого процесса, поддерживать и восстанавливать плодородие почв. Интегральной мерой биотического потенциала служит величина ежегодной первичной биологической продукции. В каждой гео- и экосистеме существует свой предел возобновления, который определяет допустимую возможность эксплуатации.

Водный потенциал – это способность ПС трансформировать получаемую из атмосферы влагу таким образом, чтобы она использовалась бы не только растительностью, но и образовывала относительно замкнутый круговорот воды, который может быть использован человеком.

Минерально-ресурсный потенциал понимается как способность ландшафтов аккумулировать или изменять (в течение геологических периодов) отдельные вещества или носители энергии, которые могут быть использованы для нужд общества (в качестве минералов, энергоносителей, строительных материалов и т.д.).

Строительный потенциал рассматривается как наличие в ландшафте подходящих природных условий для застройки территории.

Рекреационный потенциал – это совокупность природных и культурно-исторических условий, оказывающих положительное влияние на человеческий организм и обеспечивающий восстановление здоровья и работоспособности человека.

Потенциал самоочищения – способность природных систем разлагать и выносить загрязняющие вещества различного происхождения, устраняя при этом их вредное воздействие на население и хозяйство.

В самом общем виде потенциал самоочищения может быть characterized отношением количества вынесенных загрязнителей к их накоплению в ландшафте за тот же период времени. Исходя из этого соотношения, можно выделить:

а) ПС с высоким потенциалом самоочищения, когда выносятся большая часть загрязнителей (хорошо дренируемые геосистемы с промывным режимом почв);

б) ландшафты со средним потенциалом, когда выносятся более половины загрязнителей (недостаточно дренируемые территории с участками заболоченных почв);

в) ландшафты с низким потенциалом самоочищения и высокой способностью к аккумуляции (заболоченные низины и поймы рек, болота, слабопроточные озёра).

Природоохранный потенциал понимается как свойство ландшафтов (прежде всего охраняемых территорий) сберегать или восстанавливать генофонд, биологическое разнообразие и устойчивость ПС.

Взаимодействие человека и природных систем

Используя природные ресурсы, человек оказывает различные по силе и характеру воздействия на окружающую природу. **Воздействие человека на ПС** – это все виды деятельности людей и созданных ими объектов, вызывающие те или иные изменения в ПС. Оно включает действие технических средств, инженерных сооружений, технологий (т.е. способов) производства, характер использования территории.

Воздействие человека может преднамеренным и непреднамеренным.

В первом случае оно рассматривается как целенаправленное и сознательное действие, которое осуществляется в процессе материального производства с тем, чтобы удовлетворять определённые потребности общества. Преднамеренные воздействия – это объект экономики, они заранее планируются и финансируются.

Непреднамеренное воздействие представляет собой побочный эффект преднамеренного. Так, сооружение водохранилища нередко ведёт к повышению уровня грунтовых вод и подтоплению, абразии берегов, ухудшению качества воды и другим «незапланированным» последствиям. Побочные эффекты не всегда проявляются сразу, нередко носят негативный характер.

В результате воздействий происходит разного рода изменения, возникающие как в отдельных компонентах природы, так и в ПС в целом. Изменённые природные комплексы и компоненты, в свою очередь, оказывают обратное воздействие на самого человека и его деятельность, что влечёт за собой целый ряд последствий, часто нежелательных для человека. В связи с этим особое значение приобретает анализ цепочки: воздействие на ПС – изменения систем – последствия в жизни и деятельности населения. Лишь выявив конечное звено этой цепочки, можно достаточно полно оценить результаты вмешательства человека в ОПС.

Воздействие человека на ПС осуществляется через **техногенные системы (ТС)** – *комплексы взаимосвязанных антропогенных процессов, предназначенных для производства товаров с целью удовлетворения материальных, духовных и иных потребностей человека*. В состав ТС входят технические средства, технологии (т.е. способы производства), характер использования территории.

ТС включает в себя следующие объекты:

1. Промышленность,
2. Транспорт,
3. Сельское хозяйство,
4. Военно-промышленный комплекс,
5. Урбанизированные территории.

В свою очередь промышленность представляют: а) добыча и переработка природных ресурсов; б) энергетика; в) металлургия; г) нефтехимический комплекс; д) фармакопия; е) пищевая отрасль; ж) обрабатывающая; з) легкая промышленность.

Транспорт – железнодорожный, автомобильный, водный, воздушный, трубопроводный.

Сельское хозяйство – производство сельскохозяйственной продукции, переработка, мелиорация, производство минеральных удобрений и ядохимикатов.

Военно-промышленный комплекс – НИИ, проектно-конструкторские организации, заводы, испытательные полигоны, военные подразделения, радиолокационные станции.

Урбанизированные территории – это города, аэропорты, железнодорожные станции, ЛЭП, дороги, в т.ч. железные.

Данная классификация ТС, являющаяся классификацией по отраслям человеческой деятельности, мало пригодна для оценки воздействия человека на ПС. Для этих целей лучше подходит классификация ТС, предложенная И.П.Лаптевым (1975), так называемая **система социального обмена веществ**, по которой все ТС разделяют на четыре типа систем: захватывающую, перерабатывающую, выделяющую и транспортирующую. Каждый из этих типов обладает своеобразием в разных общественных формациях, но при этом сохраняет свои особенности.

Захватывающая система включает в себя все виды и способы извлечения из ОС ресурсов (шахты, карьеры, скважины, охота, рыболовство, лесозаготовка, водо- и воздухозаборные устройства и т.п.).

Перерабатывающая система включает все виды перерабатывающей и химической промышленности, предприятия и установки по очистке воды и воздуха перед их использованием. Основная задача данной системы – сделать захваченные вещества и энергию доступными для использования обществом.

Выделительная система включает различные вентиляционные и канализационные устройства, очистные сооружения, спецхозяйства, отвалы и другие подобные элементы. Основное назначение этой системы – предотвращение вредного влияния на общество и среду его жизни неусвоенных веществ и энергии. В будущем она должна слиться с перерабатывающей системой в единый комплекс, обуславливая усвоение обществом подавляющей части ранее неусваивавшихся веществ и энергии.

Транспортирующая система включает все виды транспорта, в том числе проводного, трубопроводного, конвейерного, доставляющих вещества от мест их захвата до мест переработки и усвоения. Сокращение потерь при транспортировке и ускорение доставки является основной задачей транспортной системы.

К классификации Лаптева близка классификация Д.Л.Арманда (1975), который разделил все ТС на производственные (без функции управления природными процессами), нейтральные и управляющие природой.

Производственные системы объединяют добывающие и перерабатывающие предприятия. К первым относятся горнопромышленные, лесохозяйственные, сельскохозяйственные и другие подобные объекты. Их воздействие на природу состоит, во-первых, в изъятии из неё веществ и энергии, во-вторых, в засорении среды отходами производства. Перерабатывающие предприятия влияют на природу в основном вторым путем. Системы, управляющие природными

ми процессами, включают неподвижные и регулирующие объекты. Первые из них (лесные полосы, противоселевые сооружения, ограды и т.п.) преднамеренно ускоряют, замедляют или останавливают потоки воды, воздуха, снега, твёрдых частиц, животных. Регулирующие системы имеют подвижные устройства, позволяющие усиливать или ослаблять потоки (плотины, затворы на каналах, рыбоподъёмники и др.). они осуществляют направленное изменение природных комплексов. К нейтральным сооружениям относятся здания, дороги, мосты, нефтепроводы и другие подобные объекты. Они не рассчитаны на изъятие веществ и энергии, не имеют отходов, но своим присутствием могут служить помехой движению воздуха, воды или миграции животных.

Физическая сущность антропогенного воздействия на ПС заключается: а) в изъятии вещества и энергии; б) привнесении в природу отходов производства и других веществ; в) трансформации компонентов или процессов в ПС; г) привнесении в природу чуждых для неё технических и техногенных объектов.

Воздействие человека на ПС осуществляется с помощью технических средств. Последние могут быть стационарными, не меняющими своего положения, и нестационарными, подвижными. К стационарным средствам относятся инженерные сооружения – любые длительно сохраняющиеся на местности объекты, созданные человеком из искусственных или естественных материалов (промышленные предприятия, плотины, каналы и т.п.). Их действие обычно локализовано в пространстве и протекает в большинстве случаев непрерывно. В результате времени существования инженерных сооружений и длительность их влияния на природу, как правило, совпадают. Действие нестационарной техники (сельскохозяйственных орудий, строительных машин и др.) носит кратковременный характер. Оно может периодически повторяться (как, например, пахота), но не является непрерывным. Однако изменения в природе, вызванные этой техникой, нередко сохраняются многие годы.

В свою очередь, сами воздействия человека на ПС можно разделить на несколько категорий.

По **общему характеру процессов антропогенного воздействия**, предопределяемых формами человеческой деятельности: 1) изменение ландшафтов и целостности природных комплексов; 2) изъятие природных ресурсов; 3) загрязнение ОС.

По **материально-энергетической природе воздействий**: механические, физические (тепловые, электромагнитные, радиационные, радиоактивные, акустические), физико-химические, химические, биологические факторы и агенты, их различные сочетания.

По **категориям объектов воздействия**: на природные ландшафтные комплексы, поверхность земли, почва, недра, растительность, животный мир, водные объекты атмосферы, микросреда и микроклимат обитания, люди и другие реципиенты.

По **количественным характеристикам воздействия**: пространственные масштабы (глобальные, региональные, локальные), единичность и множественность, сила воздействий и степень их опасности (интенсивность факторов и эффектов, характеристики типа «доза – эффект», пороговость, допустимость по нормативным экологическим и санитарно-гигиеническим критериям, степень риска и т.п.).

По **временным параметрам и различию воздействий по характеру наступающих изменений**: кратковременные и длительные, стойкие и нестойкие, прямые и опосредованные, обладающие выраженными или скрытыми следовыми эффектами, вызывающие цепные реакции, обратимые и необратимые и т.п.

С последними категориями классификации связано ещё деление всех антропогенных изменений на преднамеренные и непреднамеренные, попутные, побочные.

Преднамеренные преобразования: освоение земель под посевы или многолетние насаждения, сооружение водохранилищ, каналов и оросительных систем, строительство городов, промышленных предприятий и путей сообщения, рытье котлованов, разрезов, шахт, бурение скважин и т.п.

Непреднамеренные преобразования: загрязнение ОС, изменение газового состава атмосферы, изменение климата, кислотные осадки, ускорение коррозии металлов, образование фотохимических туманов, разрушение озонового слоя, экологические катастрофы в результате крупных аварий и т.п. На первый план выступают непреднамеренные экологические изменения не только по той причине, что многие из них очень значительны и важны, а также и потому, что они хуже контролируются и чреваты непредвидимыми эффектами.

*Мера антропогенного воздействия на ПС в форме изъятия, привнесения или перемещения вещества и энергии называется **нагрузкой**.* Важное значение имеет определение нормы нагрузки, т.е. величины антропогенного воздействия, не приводящего к нарушению социально-

экономических функций ПС. Критической или предельно-допустимой нагрузкой (ПДН) считается та, выше которой происходит разрушение структуры ПС и нарушение её функций.

Величины нагрузок и характер антропогенного воздействия на ландшафты тесно связаны с видами природопользования.

Глубокое и разностороннее воздействие на ПС оказывает горнодобывающая промышленность. В мире ежегодно из недр изымается около 300 млрд. тонн горных пород, что ведёт к образованию различных по величине выемок, техногенных просадок, форм техногенной аккумуляции.

Ещё более мощным фактором воздействия на ПС выступают энергетика и разные отрасли перерабатывающей промышленности. В России промышленность потребляет 30% забираемой из водоисточников воды, сбрасывает в реки и озёра более 50% объема сточных вод, выбрасывает в атмосферу около 60% всех загрязняющих веществ. Наиболее крупными загрязнителями являются предприятия теплоэнергетики, чёрной и цветной металлургии, нефтехимии и предприятия по производству строительных материалов.

Строительное воздействие сопровождается срезанием положительных и засыпкой отрицательных форм рельефа, намывом грунтов, полным разрушением почвенного и растительного покрова. В настоящее время в развитых странах застроенные территории занимают очень значительные площади. Так, в Нидерландах они составляют 31% общей территории, в России (с учётом горных выработок) – 6,5%.

Водохозяйственное воздействие на геосистемы проявляется в формировании новых, ранее отсутствовавших природных комплексов (водохранилищ, каналов и т.п.), в изменении гидролого-гидрохимического режима водоёмов, в преобразовании ландшафтной структуры прилегающих территорий.

Влияние сельского хозяйства на ПС состоит в изъятии биомассы и отчуждении питательных веществ вместе с собранным урожаем, привнесении в почву химических соединений, перераспределении веществ (при пахоте и мелиорации), изменении фитоценозов и уплотнении почвы (при выпасе скота). В целом сельское хозяйство выступает как наиболее мощный фактор нарушения естественных экосистем в пространстве – в настоящее время сельскохозяйственные угодья занимают 35% всей территории суши.

Лесохозяйственное воздействие на ландшафты можно разделить на эксплуатационное (изъятие наземной массы), подготовительное и мероприятия по уходу за лесом. Наибольшее влияние оказывают сплошные рубки, которые ведут к изменению структуры и видового состава фитоценозов, свойств почв, уровня и режима грунтовых вод, стока, микроклимата, биогеоценоза в целом.

Рассмотренные виды антропогенного воздействия нередко сочетаются и даже накладываются друг на друга в пределах одной ландшафтной системы (например, в урбанизированных ландшафтах совмещаются промышленные, строительные, дорожные, рекреационные воздействия).

Самые острые проблемы взаимодействия человека и ПС возникают на локальном (сочетание промышленных предприятий, городские и крупные сельские поселения, транспортные магистрали) и региональном (территориальные группы узлов в пределах промышленных и сельскохозяйственных районов, территориально-производственные комплексы и др.) уровнях размерности, и связаны они в первую очередь с загрязнением ОС.

Понятие загрязнения окружающей среды

Под загрязнением окружающей среды понимают любое внесение в ту или иную экологическую систему не свойственных ей живых или неживых компонентов, физических или структурных изменений, прерывающих или разрушающих процессы круговорота и обмена веществ, потоки энергии со снижением продуктивности или разрушением данной экосистемы.

Различают *природные загрязнения*, вызванные природными, нередко катастрофическими причинами, например, извержением вулкана, и *антропогенные*, возникающие в результате деятельности человека.

В качестве основных объектов загрязнения выступают компоненты природы – воздух, воды, почвы, биота, а в конечном итоге – ландшафт в целом.

Выделяют следующие виды антропогенного загрязнения: механическое, физическое (тепловое, радиоактивное, акустическое, электромагнитное), физико-химическое (аэрозольное), химическое, биологическое.

Есть «источник загрязнения» и «загрязнитель (поллютант, ингредиент, токсикант)».

Под **источником загрязнения** понимается любой природный (например, вулкан) или материальный объект производственной деятельности человека, выделяющий в ОС различные загрязнения. К последним можно отнести отдельные точки выброса (трубу, водосброс и т.п.), крупные предприятия с большим числом точек выброса (например, металлургический комбинат), индустриальные районы и регионы, откуда загрязняющие вещества могут поступать в соседние регионы (например, из США в Канаду).

Загрязнитель – любой природный или антропогенный агент, попадающий в ОС или возникающий в ней в количествах, выходящих за рамки естественного фона.

Загрязнители делятся на *материальные* (пыль, газы, зола, шлаки и др.) и *физические*, или *энергетические* (тепловая энергия, электрические и магнитные поля, шум, вибрация и т.п.). Материальные загрязнители подразделяются на *механические*, *химические* и *биологические*. К механическим загрязнителям относятся пыль и аэрозоли атмосферного воздуха, твердые частицы в воде и почве. Химическими загрязнителями являются различные газообразные, жидкие и твердые химические соединения и элементы, попадающие в атмосферу, гидросферу и вступающие во взаимодействие с ОС. Биологическими загрязнителями являются все виды организмов, появляющиеся при участии человека и наносящие ему вред – вирусы, микроорганизмы, простейшие, гельминты, споры и пыльца растений и другие.

Из всех загрязнителей наибольшее опасение вызывают химические загрязнители. В настоящее время известно более 7 млн. химических веществ, из которых около 60 тыс. находят широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Ежегодно на международном рынке появляется до тысячи новых химических соединений и смесей. Всё это вместе взятое приводит к возрастанию загрязнения ОС химическими веществами. Несмотря на разнообразие химических веществ, часто вызываемые ими заболевания в своей основе имеют сходные патологические процессы. В соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 вредные вещества по характеру воздействия на человека подразделяются на:

- *общетоксические* – вызывающие отравления всего организма или поражающие отдельные системы организма (ЦНС, периферическую нервную и кровеносную системы), а также патологические изменения печени, почек (оксид углерода, цианистые соединения, свинец, ртуть, бензол и др.);
- *раздражающие* – вызывающие раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, глаз, лёгких, кожных покровов (хлор, аммиак, оксиды серы, азота, озон и др.);
- *сенсibilизирующие* – действующие как аллергены (формальдегид, растворители, лаки на основе нитро- и нитрозосоединений и др.);
- *мутагенные* – приводящие к нарушению генетического кода, изменению наследственной информации (свинец, марганец, радиоактивные изотопы и др.);
- *канцерогенные* – вызывающие, как правило, злокачественные новообразования (циклические амины, ароматические углеводороды, хром, никель, асбест и др.);
- *влияющие на репродуктивную функцию* (ртуть, свинец, стирол и др.).

Кроме перечисленных видов биологического действия надо отметить, что некоторые вещества, преимущественно аэрозоли, оказывают на человека фиброгенное действие (образование в лёгких мельчайших рубцов). К таким веществам относятся аэрозоли металлов, пластмасс, органическая и минеральная пыль.

Кроме этого вида воздействия пыль может проявлять и токсическое действие. К ядовитым пылям относят аэрозоли ДДТ, хромового ангидрида, свинца, бериллия, мышьяка и др. Аэрозоли этих веществ могут вызывать местное воздействие на верхние дыхательные пути, а также вызывать острые и хронические отравления, проникая в лёгкие и желудочно-кишечный тракт.

Изолированное действие на организм человека загрязнителей встречается редко, обычно они содержатся в ОС в виде сложного комплекса.

Комбинированное действие загрязнителей – это одновременное или последовательное действие на организм нескольких ядов при одном и том же пути поступления. Различают несколько видов комбинированного (совместного) действия загрязнителей:

1. **Аддитивное действие** – суммарный эффект смеси равен сумме эффектов действующих компонентов. Это, как правило, характерно для веществ одонаправленного действия, когда компоненты смеси действуют на одни и те же системы в организме.
2. **Потенцированное действие (синергизм)** – компоненты смеси действуют так, что одно вещество усиливает, потенцирует действие другого. Синергизм – комбинированное действие смеси веществ, которое по своему эффекту больше аддитивного.

Например, потенцирование отмечается при совместном действии сернистого ангидрида и хлора.

3. Антагонистическое действие – эффект комбинированного действия ниже ожидаемого. Компоненты смеси действуют так, что одно вещество ослабляет действие другого. Примером такого действия может быть действие системы «яд – противоядие».
4. Независимое действие – комбинированный эффект не отличается от изолированного действия каждого загрязнителя. Преобладает эффект наиболее токсичного вещества. Комбинации веществ с независимым действием встречаются достаточно часто, например, бензол и раздражающее действие смеси продуктов сгорания и пыли.

Основные источники загрязнения природной среды

При абстрактном подходе все проблемы ОС можно свести к человеку, сказав, что любое отрицательное воздействие на ОС исходит от человека – как субъекта хозяйственной деятельности, производителя, потребителя, носителя технического прогресса, и просто как жителя планеты. В этой связи необходимо проанализировать некоторые аспекты деятельности человека, которые оказывают особо вредное воздействие на среду. И первую очередь речь должна идти о загрязнении ОС. Основными источниками загрязнения и ухудшения качества ОС являются – производство, транспорт, потребление, использование современной техники, урбанизация и т.д.

Рассмотрим подробнее основные источники загрязнения ОС.

Производство энергии. Основным источником энергии является в настоящее время и будет, вероятно, оставаться в обозримом будущем тепловая энергия, получаемая от сжигания угля, нефти, газа. Следовательно, основным источником загрязнения в энергетике являются тепловые электростанции. Для них наиболее характерно химическое и тепловое загрязнение. При сжигании твёрдого топлива в котлах на ТЭС и ТЭЦ образуется большое количество золы, диоксидов серы и азота, канцерогенов. В нашей стране на тепловую энергетику приходится до 27% общего количества выбросов в атмосферу всей промышленности, при этом в этих выбросах 31% пыли, 42% -диоксида серы и 24% -окислов азота.

К другому источнику загрязнения ОС в энергетике относится сброс загрязнённых сточных вод в водоёмы. В середине 90-х годов XX века в России из 1,5 млрд. кубометров сточных вод, требующих очистки, нормативно-очищенными сбрасывалось около 12%.

Источником загрязнения подземных вод являются многочисленные золошлакоотвалы.

Металлургическая промышленность. Чёрная и цветная металлургия относятся к самой загрязняющей природную среду отрасли. На долю металлургии приходится около 40% общероссийских валовых выбросов вредных веществ, из них по газообразным веществам – около 34%, по твёрдым – около 26%.

Чёрная металлургия является одним из крупнейших потребителей воды. На её долю приходится 12-15% общего потребления воды всей промышленностью. Около 65% сточных вод, образующихся в технологическом процессе, относятся к «условно-чистым» стокам (имеют только повышенную температуру). Остальные сточные воды загрязнены различными примесями и вредными соединениями.

Концентрация вредных веществ в атмосфере и водной среде крупных металлургических центров значительно превышает нормы.

По общему объёму выбросов чёрной металлургии лишь немного уступает цветная. Однако по токсичности загрязнителей последняя значительно превосходит первую. Сточные воды предприятий цветной металлургии загрязнены минеральными веществами, фторореагентами, цианидами, нефтепродуктами, солями тяжёлых металлов, мышьяком, сурьмой, фтором, хлоридами и сульфатами. Эта же промышленность – крупный источник загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами, содержание которых в почве центров цветной металлургии может превышать ПДК в 5-300 раз.

Химическая, нефтехимическая и целлюлозно-бумажная промышленность. Эти отрасли относятся к одним из основных загрязнителей воздушного бассейна (окислы углерода, сернистый газ, углеводороды, соединения азота, хлора, мышьяка, ртути и т.д.), воды и почвы (нефть и нефтепродукты, фенолы, сульфитные сточные воды и др.). Предприятия этих отраслей промышленности являются источниками загрязнения подземных вод металлами, метанолом, фенолом в концентрациях, достигающих нередко сотен тысяч ПДК на площадях в десятки квадратных километров, что приводит к невозможности использования водоносных горизонтов для какого-либо водоснабжения.

Проблема охраны ОС, связанная с этими отраслями промышленности, особенно актуальна в связи с увеличением в химическом производстве доли синтетических продуктов, которые в природной среде не разлагаются или разлагаются очень медленно.

Транспортно-дорожный комплекс и связь. Негативная роль транспортно-дорожного комплекса в ухудшении качества ОС постоянно возрастает. В валовом объеме всех выбросов этих отраслей народного хозяйства 89% приходится на автомобильный транспорт. В выхлопе этого транспорта содержится около 200 вредных веществ, в том числе и канцерогенных. Нефтепродукты, продукты износа шин и тормозных накладок, сыпучие и пылящие грузы, хлориды, используемые в качестве антиобледенителей дорожных покрытий, загрязняют придорожные полосы и водные объекты.

Из-за высокого шумового воздействия воздушного транспорта серьезные проблемы возникают для прилегающих к аэропортам территорий жилой застройки.

Негативным образом сказывается на здоровье людей возрастание общего электромагнитного фона, особенно в крупных промышленных центрах. Основными источниками электромагнитных полей являются радиотехнические объекты, телевизионные и радиолокационные станции, термические цеха, высоковольтные линии электропередач.

Сельское и лесное хозяйство. Производственная деятельность в этих отраслях наиболее тесно связана с природной средой, так как она протекает непосредственно в природе. Однако с внедрением индустриальных методов в этих отраслях произошли существенные изменения, которые неблагоприятно сказываются на среде. Механизация и химизация сельского хозяйства сопровождается загрязнением выхлопными газами атмосферного воздуха, загрязнением маслами, бензином почвы. Минеральные удобрения, особенно азотные и фосфорные, а также химические средства защиты растений загрязняют почву, воду.

Нерациональное землепользование вызывает эрозию почвы, а нерациональное ведение лесного хозяйства, вызывает в свою очередь изменения в растительном и животном мире, нередко приводящие к исчезновению некоторых видов растений и животных.

Военно-промышленный комплекс относится к одному из основных природопользователей, влияние которого на ПС обладает большой разрушительной силой. На окружающую среду деятельность ВПК отрицательно отражается не только в военное время, но и в мирное. Современная армия требует все возрастающих пространств для своего функционирования. Размеры территорий и степень воздействия на нее многократно увеличиваются во время маневров и учений. Дислокация столь огромной военной мощи вызывает на обширной территории значительную деградацию природных комплексов.

Значительное загрязнение воздуха и земли происходит в процессе производства, испытания и хранения всех видов оружия.

Промышленные комплексы по производству вооружения потребляют колоссальное количество дефицитного сырья и энергии. Так, для строительства и развертывания только одной мобильной баллистической ракеты требуется: 4,5 тысячи тонн стали, 2,2 тыс. тонн цемента, 50 тонн алюминия, 12,5 тонны хрома, 750 кг титана, 120 кг бериллия.

Не менее опасно и разоружение, уничтожение оружия, в первую очередь ядерного, химического и бактериологического, что связано с огромным экологическим риском.

Из всего вышесказанного ясно, что обострение противоречий между обществом и природой носит длительный, затяжной характер. При этом имеет место пока еще обратимое изменение равновесного состояния природы. Такую фазу в развитии ПС принято называть **экологическим кризисом**. Экологический кризис характеризуется не столько усилением воздействия человека на природу, сколько резким увеличением влияния измененной людьми природы на общественное развитие.

Основным проявлением экологического кризиса в настоящее время является:

- а) глобальное потепление;
- б) разрушение озонового слоя;
- в) опустынивание;
- г) загрязнение окружающей среды.

Наряду с экологическим кризисом возможно и такое явление как **экологическая катастрофа**. Экологическая катастрофа отличается от экологического кризиса тем, что кризис – это обратимое состояние, где человек выступает активной действующей стороной, а катастрофа – необратимое явление, человек здесь вынужденно пассивная, страдающая сторона. В более широком понимании экологическая катастрофа – эта фаза развития биосферы, где происходит качественное обновление живого вещества, например, вымирание одних видов и возникновение других.

Экологическая катастрофа может быть: или следствием аварии технического устройства, приведшей к неблагоприятным изменениям в среде и повлекшей за собой массовую гибель живых организмов и экономический ущерб; или природной аномалией (длительная засуха, массовый мор, например, скота и т.д.), зачастую возникающая на основе прямого или косвенного воздействия человека на природные процессы и ведущая к неблагоприятным экономическим последствиям или массовой гибели населения определенного региона; или одним из состояний природы.

Экологические кризисы и экологические катастрофы в истории планеты и человеческого общества случались неоднократно, их последствия с большим или меньшим успехом устранялись природой, однако в последнее время техногенные аварии и природные катастрофы становятся все более серьезным фактором дестабилизации среды жизни человека.

Техногенные аварии

Многие специалисты обратили внимание на усиление связи между техногенными авариями и природными катастрофами и приобретении многими из них глобально-экологического характера.

В конце XX века в России отмечен рост чрезвычайных ситуаций (ЧС). Увеличилось количество техногенных аварий: взрывов, пожаров, сбросы и выбросы в окружающую среду загрязняющих химических, радиоактивных или биологических веществ. Рост числа чрезвычайных ситуаций сопровождается увеличением количества погибших и пострадавших людей, а также значительным материальным ущербом.

По экологическим последствиям наиболее опасными являются аварии в нефте-, газодобывающей и угольной отраслях промышленности; металлургии, химической, нефтехимической и микробиологической отраслях промышленности и на транспорте (табл. 9.10).

Аварии на магистральных нефте-, газо- и продуктопроводах сопровождаются потерями сырья, возникновением пожаров, загрязнением больших территорий. В результате только одной аварии на линейной части магистрального нефтепровода Красноярск-Иркутск в марте 1993 г. разлилось около 25 тыс.м³ нефти и было уничтожено 33 га плодородной земли. Утечка солянки из нефтепровода Курган-Тюмень в реку Мостовка (приток р. Исеть) в сентябре 1997 г. привела к тому, что загрязнение поверхностных вод нефтепродуктами в месте аварийного сброса превысило 78000 ПДК, а в 500 м ниже места сброса – 3850 ПДК.

Одна из наиболее экологически значимых ЧС имела место в июне 1997 г. в Иркутской области на ликвидированной десятью годами ранее геологоразведочной скважине, которая начала фонтанировать газом через устье. В атмосферу попало 150 ... 300 тыс. м³ газа.

При перевозке опасных грузов на железнодорожном транспорте в 1993 г. произошло 20 аварий и крушений поездов. В черте городов –Москва, Санкт-Петербург, Волгоград, Саратов, Пермь, Екатеринбург и других в результате сходов и столкновений составов с опасными грузами в окружающую среду попало 1600 тонн нефтепродуктов, 80 тонн сжиженных газов, 350 тонн различных химических веществ. В 1997 г. наиболее распространенными видами инцидентов были признаны утечки опасных грузов по пути следования, как результат неудовлетворительного качества ремонта вагонов-цистерн.

Несмотря на повышенные требования по безопасной работе атомных электростанций, количество нарушений их эксплуатации остается высоким. В 1991 г. таких нарушений было 164, в 1992 г. – 204, а в 1993 г. – 200.

Значительный ущерб окружающей среде наносится также во время выполнения спасательных, аварийно-восстановительных работ, в процессе ликвидации последствий ЧС.

Таблица

Чрезвычайные ситуации техногенного характера по данным Госкомэкологии России

Тип ЧС	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Крушения, аварии, столкновения с пассажирскими поездами на железных дорогах	2	*	8	2	0	9	5
Аварии на грузовых и пассажирских судах	98				3	4	4
Авиационные катастрофы			5	2	0	1	1

Крупные автокатастрофы			77	84	53	51	24
Аварии на магистральных и крупных внутрипромышленных трубопроводах		2	8	8	2	1	3
Аварии на промышленных объектах	30	38	56	62	48	50	14
Обнаружение взрывчатых веществ (боеприпасов) в населенных пунктах			4	5	8	6	3
Аварии с выбросом (угрозой выброса) аварийно химически опасных веществ	4		3	8	4	6	1
Аварии с выбросом (угрозой выброса) радиоактивных веществ					6	8	8
Аварии в зданиях жилого и социально-бытового назначения			09	21	89	04	
Аварии в системах жизнеобеспечения	5		9	2	8	14	20

* Прочерки означают отсутствие информации в Государственных докладах о состоянии окружающей природной среды в РФ за соответствующий год.

Войны

Военные конфликты всегда сопровождалась серьёзными экологическими последствиями. Война — это "трагический синдром" человеческой цивилизации на всем протяжении её развития. Особенно обострились проблемы войны и мира в конце века, когда под угрозу поставлено само существование человечества. При этом, с одной стороны, войны приобрели опасную тенденцию становиться мировыми, а с другой — небывало возросла разрушительная сила технических средств ведения войны. В век ракетно-ядерной техники мировая война недопустима, ибо может привести к полному уничтожению всего живого на Земле.

На цели военного характера - для проведения учений, маневров войск, испытаний оружия, устройства полигонов, военных баз, складов, военных гарнизонов, позиций тактических и стратегических ракет, аэродромов, специальных дорог и т.п. — отторгается значительная доля земли. Всего в мире на цели военного характера выделено около 42 млн. га суши, в большинстве случаев вполне пригодной для использования в сельском хозяйстве.

Для годичного обеспечения действующей армии в 300 дивизий (6 млн. человек) во время второй мировой войны необходимо было не менее 30 млн. тонн железа и стали, 250 млн. тонн угля, 25 млн. тонн нефти, 10 млн. тонн цемента, 2 млн. тонн марганцевой руды, 20 тыс. тонн никеля, 10 тыс. тонн вольфрама и много других стратегических материалов. На военные нужды в современном мире расходуется нефти вдвое больше её годового потребления всеми странами Африки.

Губительные последствия войны как экологического фактора сказываются на окружающей природной среде во многих формах. Одна из них — материальные остатки военных действий. В земле и море остаются мины, неразорвавшиеся снаряды, авиабомбы и другие боеприпасы (обычно до 10 % использованных). Другая — воронки от взрывов, поврежденная военная техника, остатки долговременных укреплений, осколки снарядов, ограничивающие пригодность территорий, а также остатки взрывчатых веществ и топлива, продукты горения и взрывов.

Человечество достигло такого уровня технического развития, когда в качестве оружия вполне возможно инициирование разрушительных ураганов и бурь с приданием их траекториям заданного направления, нарушение верхних слоев атмосферы и ионосферы (разрушение озонового слоя). Возможны также искусственное создание волн цунами, вызов землетрясений, создание лавин и оползней, изменение течения рек, стимуляция вулканической деятельности, изменение природных условий. Реализация любого из названных видов воздействия может привести к экологической катастрофе не только регионального, но и глобального масштаба.

К непредсказуемым экологическим последствиям ведёт и использование бактериологического и химического оружия. Смертоносным воздействием обладает современное химическое оружие — боевые химические отравляющие вещества. Их широкое применение, наряду с массовой гибелью людей, может привести к необратимым экологическим последствиям, к серьёзному

нарушению равновесия в природе.

Ядерная зима

Наиболее полное представление о войне как факторе, губительном для биосферы, даёт анализ крупномасштабных последствий ядерной войны. Ядерное оружие является средством многофакторного действия и именно это отличает его от других видов оружия. Степень воздействия ядерного оружия на окружающую среду зависит от целого ряда обстоятельств - мощности примененного заряда, поражаемого объекта, рельефа местности, метеорологических условий и других. Факторами ядерного взрыва, непосредственно воздействующими на людей, флору и фауну, являются световое излучение, ударная волна, первичная радиация, остаточная радиация в виде местных радиоактивных осадков.

Ядерные взрывы действуют на атмосферу примерно так же, как вулканы, которые, извергаясь, выбрасывают огромные облака пыли. Пыль закрывает доступ солнечным лучам и на какое-то время уменьшается количество солнечной энергии, поступающей на Землю. В результате температура земной поверхности и атмосферы падает.

В случае ядерной войны помимо пыли в атмосферу поднимутся и огромные количества сажи, произойдет значительное загрязнение аэрозольными частицами и газообразными примесями, возникшими в результате как взрывов, так и пожаров в лесах, в городах, на нефтепромыслах. Предполагается, что только на промыслах и складах сгорит до 2,5 млрд. тонн ископаемого топлива (нефти и газа), площадь лесных пожаров составит не менее 10^6 км², а общее количество дыма и пылевых частиц достигнет $1,2 \cdot 10^9$ тонн.

В результате на Земле установятся чёрная "ядерная ночь" и "ядерная зима". Возникнут условия для образования озона и смога во многих южных регионах. Все это приведет к заметному изменению климата, существенному иссушению или опустыниванию ряда территорий, перераспределению водных ресурсов, замерзанию источников пресной воды, гибели урожаев от холода, массовому усыханию растительности.

Для человечества последствия представляются еще более устрашающими. Расчеты показывают, что в случае обмена ядерными ударами мощностью 5 000 ... 10 000 Мт погибнет сразу от 300 млн. до 1 млрд. человек и ещё столько же получают тяжёлые увечья, а оставшиеся в живых подвергнутся радиоактивному облучению. Ядерная война приведёт к резкому уменьшению численности населения планеты, ухудшению его здоровья и генетических качеств. В свою очередь это может обусловить неадекватные реакции на факторы среды и станет источником новых форм болезней. Человек должен будет приспосабливаться к новым видам микроорганизмов, растений и животных, измененным радиацией. Сложившееся тысячелетиями равновесие нарушится, и наследственность будет проявляться в новой среде по-иному.

Долгое время считалось, что последствия ядерных взрывов будут ограничены в основном территориями тех стран, которые окажутся противниками в войне. Летом 1983 г. в нашей стране с помощью компьютерной модельной системы "Гей" были проведены исследования климатических последствий ядерной войны. Из полученных результатов стало ясно, что ядерный конфликт приведет не к локальным похолоданиям и мраку под пологом отдельных сажевых облаков, а к "глобальной ядерной ночи", которая продлится около года. Сотни миллионов тонн грунта, поднятого в атмосферу, дымы континентальных пожаров – зола и, главным образом, сажа горящих городов и лесов сделают наше небо непроницаемым для солнечного света. В дальнейшем произойдет полная перестройка атмосферной циркуляции.

После ядерных пожаров исчезнет приоритетное положение экватора, там станет также холодно, как и всюду. Воздушные массы будут подниматься вверх на севере, двигаться к югу, в южной полярной зоне опускаться к поверхности земли, вдоль которой станут двигаться к северу. В результате такой схемы движения воздуха пятна сажевых облаков постепенно сольются в одно целое, и через 1,5 ... 2 месяца вся Земля окажется окутанной сплошным чёрным покрывалом, практически не пропускающим света. Уже в первые недели средняя температура Северного полушария упадет на 15 ... 20 градусов ниже обычного уровня. Но в отдельных местах (например, в Северной Европе) падение достигнет 30 и даже 40 ... 50 градусов (на Восточном побережье США и центральных районах Сибири). Похолодание охватит также и значительно более южные районы. В Саудовской Аравии к концу первого месяца после ядерной катастрофы температура упадёт более, чем на 30 градусов. В дальнейшем, по мере образования сплошного сажевого одеяла, похолодание распространится и в Южное полушарие. В экваториальной зоне температура упадет на 15 ... 20 градусов. Похолодание произойдёт даже в Антарктиде. Уже к началу третьего месяца после ядерной катастрофы черное покрывало сажи целиком окутает всю Землю.

Большие разности температур над океаном и над сушей приведут к появлению в при-

брежной зоне штормов и ураганов. Сажа будет постепенно оседать, атмосфера начнет просветляться и прогреваться. Однако этот процесс будет иметь ряд особенностей. Поскольку обволакивающее Землю покрывало будет состоять из чёрной сажи, то оно, как показывают расчеты, станет отражать значительно меньше солнечной энергии, чем сейчас Земля отражает в космос. Иными словами, Земля в целом будет получать солнечной энергии больше, нежели она получает теперь. Но вся эта энергия окажется сконцентрированной в верхних слоях тропосферы, там, где будет лежать черное покрывало. Благодаря этому вертикальные движения атмосферы ниже сажевых облаков качественно изменятся. Сегодня нагревание атмосферы идёт от поверхности Земли. С высотой температура воздуха в тропосфере падает. То есть в обычных условиях более тяжелый холодный воздух находится над более лёгким тёплым воздухом. Это порождает неустойчивость атмосферы. Лёгкий тёплый воздух стремится подняться вверх, холодный — опуститься вниз. Появляются вертикальные потоки воздуха, возникает конвекция. С ней связано образование облачности, выпадение осадков. После ядерной катастрофы всё изменится. Верхние слои разогреются до многих десятков и даже сотен градусов, а у поверхности Земли будут глубокие отрицательные температуры.

Вследствие такого распределения температур атмосфера сделается гораздо более устойчивой, чем сейчас. Исчезнет конвекция, а с ней вместе конвективный перенос частиц сажи и пыли, которые будут в атмосфере, прекратится выпадение осадков. Осаждение сажи и пыли будет происходить только за счет силы тяжести. Благодаря этому просветление атмосферы — выпадение и вымывание сажи — будет идти исключительно медленно.

Несмотря на то, что замутненная атмосфера и сажевые облака в тропосфере будут нагреты очень сильно, прогревание атмосферы займет многие и многие месяцы. И первыми это прогревание почувствуют Гималаи и другие высочайшие горные хребты (в том числе и горы Антарктиды). При температурах в десятки градусов выше нуля начнут таять вечные снега и огромные массы воды будут низвергаться вниз — это еще одно проявление ядерной зимы. Этот процесс захватит и Антарктиду.

Из-за огромной теплоёмкости воды океан практически не остынет. Температура его поверхности понизится всего лишь на 1,5 ... 2 градуса. В результате возникнет огромная разность температур между сушей и океаном и между воздухом и водой. В прибрежных районах будут бушевать колоссальные штормы.

Ядерная зима неизбежно охватит своими страшными последствиями весь земной шар. Биосфера в результате ядерного удара полностью перестроится. Неизвестно, в каком состоянии окажется биосфера, какой будет климат и будет ли вообще пригодна наша Земля для того, чтобы приютить у себя остатки людей.

Анализ техногенных аварий и природных катастроф приводит к заключению, что *главные источники опасности для человека проистекают из созданной им среды.*

Экологические катастрофы природного характера

Наряду с увеличением количества экологических катастроф антропогенного происхождения и усилением их последствий, имеет место и рост числа катастроф природного происхождения. Так, в 1989 году после необычайно сильной вспышки солнечной активности в течение полутора месяцев в Евразии зарегистрировано, по крайней мере, 12 землетрясений силой от 4 до 9 баллов (по 12 бальной шкале), в том числе в зонах, считавшихся сейсмически стойкими. Затем последовали извержения вулкана на острове Итуруп, сильнейшие сходы лавин, оползни и сели в Аджарии, наводнение в Западной Украине, резкое похолодание в Средней Азии со снегопадами и массовой гибелью скота, небывало сильный град в Ставрополе и Восточной Грузии.

Одной из причин экологических катастроф природного характера является состояние природы, называемое стихийным бедствием.

Стихийные бедствия — это опасные природные явления или процессы геофизического, геологического, гидрологического, атмосферного и другого происхождения таких масштабов, которые вызывают катастрофические ситуации, характеризующиеся внезапным нарушением жизнедеятельности населения, разрушением и уничтожением материальных ценностей, поражением и гибелью людей и животных.

Территория, на которой произошло стихийное бедствие, называется **зоной чрезвычайной ситуации**.

К факторам стихийных бедствий относятся:

- *геологические* (извержения вулканов, оползни, обвалы, землетрясения, абразия, эрозия, просадка земной поверхности);

- *гелиофизические* (нарушения условий распространения радиоволн, ухудшение радиоактивной обстановки);
- *метеорологические и агрометеорологические* (ветер, град, дождь, снегопад, метель, гололед, пыльная буря, заморозки, суховей, мороз, жара, туман, природный пожар);
- *гидрологические* (наводнение, сель, снежная лавина, ранний ледостав, низкий уровень воды);
- *морские* (волнение, тропический циклон, цунами, сложная ледовая обстановка, изменение уровня моря);
- *космические* (падение крупного метеорита).

Кратко рассмотрим некоторые из них.

Землетрясение – это интенсивное колебание земной коры тектонического или вулканического происхождения. Они могут происходить как на суше, так и под водой.

Пятая часть России подвержена землетрясениям силой более 7 баллов. К чрезвычайно опасным зонам относятся Северный Кавказ, Якутия, Прибайкалье, Сахалин, Курильские острова. В последние годы опасные землетрясения проявились в Алтае.

Наводнение – это временное затопление водой значительной части суши в результате обильных осадков или интенсивного таяния снега, сильных нагонных ветров и подводных землетрясений. Наводнения в большей или меньшей степени периодически наблюдаются на большинстве рек России. По материальному ущербу они занимают первое место в ряду стихийных бедствий. По количеству человеческих жертв – второе место после землетрясений.

Селевые потоки – это внезапно формирующийся в руслах горных рек временный поток с большим содержанием камней, песка и других твердых материалов. Селевые потоки возникают на Северном Кавказе, в некоторых районах Урала и Восточной Сибири. В селеопасных районах прямыми признаками возможного возникновения селевых потоков являются чрезмерные атмосферные осадки, быстрое таяние снегов и ледников в горах, переполнение горных озер и водоемов, нарушения в естественном стоке вод горных рек и ручьев с изменением русел и образованием запруд.

Оползень – это скользящее смещение земляных масс или горных пород вниз по склону под влиянием силы тяжести, в результате нарушения условий равновесия склонов, чаще всего по берегам рек и водоемов. Основной причиной их возникновения является насыщение подземными водами глинистых пород до пластического и текучего состояний, в результате чего и происходит сползание масс грунта.

Оползни чаще всего вызываются сильными дождями и эрозией почвы, а также непродуманной деятельностью человека, в результате которой изменяются условия устойчивости грунта (уничтожение лесных массивов и выкорчевывание даже отдельных деревьев, чрезмерное использование оросительных систем, ведение горных и земляных работ, там, где геологическое строение земли изучено с недостаточной полнотой, и др.). До 80% современных оползней связано с деятельностью человека. Значительное количество оползней происходит в горах на высоте от 1000 до 1700 м (90%). Оползни могут происходить на всех склонах с крутизной 19 градусов. Однако на глинистых грунтах они случаются и при крутизне склона 5-7 градусов. Для этого достаточно избыточного увлажнения пород.

Оползни наносят существенный ущерб народному хозяйству. Они угрожают движению поездов, автомобильному транспорту, жилым домам и другим постройкам. При оползнях интенсивно идет процесс выбывания земель из сельскохозяйственного оборота. Часто имеет место гибель людей. Так, 23 января 1984 г. в результате землетрясения в Гиссарском районе Таджикистана произошел оползень шириной 400 м и длиной 4,5 км. Огромные массы земли накрыли поселок Шарора. Погребены 50 домов и погибли 207 человек.

В 2002 году в пригороде Каракаса (Венесуэла) после длительных, небывало сильных дождей произошел оползень, накрывший большое количество жилых домов и приведший к гибели нескольких тысяч человек.

Количество чрезвычайных ситуаций, связанных с оползнями, продолжает увеличиваться. Особенно активизировались оползневые процессы в Карачаево-Черкесии, Дагестане и Ставропольском крае.

Снежные заносы – это наметенные в результате снегопадов и метелей сугробы, преграждающие путь. Снегопады, продолжительность которых может быть от 16 до 24 часов, сильно препятствуют хозяйственной деятельности человека, особенно в сельской местности. Отрицательное влияние этого явления усугубляется метелями, при которых резко ухудшается видимость, прерывается транспортное сообщение. Выпадение снега с дождем при пониженной температуре и ураганном ветре создает условия для обледенения линий электропередач, связи,

контактных сетей электротранспорта, а также кровли зданий, различного рода опор и конструкций, что нередко вызывает их разрушение.

Снежные лавины *это снежные массы, низвергающиеся со склонов гор под действием силы тяжести.* Начавшийся двигаться снег быстро набирает скорость, захватывая на своем пути все новые снежные массы, камни и другие предметы. Движение продолжается до более пологих участков, где тормозится и останавливается. Формирование и движение лавин происходит в пределах лавинного очага, т.е. участка склона и его подножия, в пределах которого движется лавина. Лавины образуются при достаточном снегонакоплении и на безлесных склонах крутизной от 15 до 50 градусов. Считается, что ровный травянистый склон крутизной более 230 градусов лавиноопасен, если высота снега на нем превышает 30 см. кустарниковая растительность не является препятствием для схода. В России чаще всего лавины случаются на Кольском полуострове, Урале, Северном Кавказе, на юге Западной и Восточной Сибири, Дальнем Востоке. Опасность лавин зависит от их мощности. Мелкие, уже в 10 кубометров снега, опасны для человека и легкой техники, крупные в состоянии разрушить капитальные инженерные сооружения, образовать трудно- или непреодолимые завалы на транспортных трассах.

Лесные пожары – *это неконтролируемое горение растительности, стихийно распространяющееся по лесной территории.* Причиной возгорания может быть молния или самовозгорание торфа, однако доля таких пожаров ничтожна, а в основном эти пожары возникают по вине человека. Больше всего от огня страдает сельское хозяйство, гибнут деревья и кустарники, заготовленная лесная продукция, торф, строения и сооружения, житные и растения, ослабевают защитные и водоохранные функции леса. Чаще всего происходят низовые пожары (90%), при которых огонь распространяется только по почвенному покрову, охватывая нижние части деревьев, траву и выступающие корни. Верховой пожар, при котором огонь продвигается по кронам деревьев, начинается только при сильном ветре. В России наибольшее распространение это бедствие получило в Читинской, Иркутской, свердловской, Калининградской, Ленинградской, Архангельской областях, Красноярском крае, республиках Саха и Хакасия.

Ураганы (штормы) – *это чрезвычайно быстрые и сильные, нередко большой разрушительной силы и значительной продолжительности движения воздуха.* Скорость урагана достигает 30 м/с и более. По своей мощи ураган может сравниться с землетрясением. Ураганный ветер разрушает прочные и сносит легкие строения, опустошает поля, обрывает провода, валит столбы линий электропередач и связи, ломает и выворачивает с корнями деревья, топит суда и повреждает транспортные магистрали.

Бури – *разновидность ураганов и штормов.* При бури скорость ветра достигает 15-30 м/с.

Смерч (торнадо) – *восходящие вихри быстро вращающегося воздуха, имеющие вид темного столба диаметром от нескольких десятков до сотен метров с вертикальной, иногда загнутой осью вращения.* Смерч как бы «свешивается» из облака к земле в виде гигантской воронки. Давление внутри его всегда пониженное, поэтому туда засасываются любые предметы.

Ураганы, бури и штормы в России возникают на Сахалине, Камчатке, Чукотке и Курильских островах, в Приморском и Хабаровском краях. Смерчи часто наблюдаются в Поволжье, Сибири, на Урале и средней полосе России.

Вулканы – *коническая гора с кратером на вершине, через который из недр земли время от времени извергается огонь, лава и пепел.* Причина вулканической деятельности – процессы, происходящие в глубинах Земли. В период активности вулканы выбрасывают на поверхность, а том числе в атмосферу, огромное количество твердого и газообразного материала. Наиболее опасные явления, сопровождающие извержения вулканов, - это лавовые потоки, выпадение пепла, вулканические грязевые потоки, вулканические наводнения, палящая вулканическая туча и вулканические газы, состоящие из смеси перегретого водяного пара, оксидов серы, сероводорода, углекислого и угарного газов, хлористо- и фтористоводородных кислот.

Экологическая безопасность

Приведенный нами ранее материал, в также весь опыт человечества свидетельствует, о том, что в результате деятельности человека в настоящее время природная среда оказывается в состоянии экологического кризиса, а может быть и катастрофы.

Хотелось бы, чтобы природа вышла из этого состояния и пришла в экологически безопасное состояние. Таким образом, мы с вами подходим к понятию экологической безопасности.

Этому понятию есть два варианта определения.

Экологическая безопасность – совокупность действий, состояний и процессов, прямо или косвенно не приводящих к жизненно важным ущербам (или угрозам таких ущербов), наносимым ПС, отдельным людям и человечеству.

Экологическая безопасность – комплекс состояний, явлений и действий, обеспечивающих экологический баланс на Земле и в любых ее регионах на уровне, к которому физически, социально-экономически, технологически и политически готово (может без серьезных ущербов адаптироваться) человечество.

ЭБ может быть рассмотрена на глобальном, региональном, локальном и условно точечном уровне, в т.ч. в пределах государства и его любого подразделения.

Основным и наиболее комплексным, универсальным инструментом достижения ЭБ может быть только государство. По своей сути государство обслуживает общество, выполняя организующую роль, вырабатывая и реализуя технологии выживания и развития, безопасного существования. Не случайно Совет безопасности РФ признает, что ЭБ является важнейшей составной частью национальной безопасности.

Приоритетным направлением работ по обеспечению ЭБ являются:

- 1) выявление и регистрация новых потенциально опасных химических и биологических веществ, соответствующих технологий, опасных объектов промышленности, энергетики и сельского хозяйства;
- 2) оценка риска экологически опасных факторов здоровья;
- 3) оценка воздействия на ОС различных видов хозяйственной и иной деятельности, а также их экологическая экспертиза;
- 4) обязательное предупреждение и информирование общественности, граждан и органов управления всех уровней о действиях, технологиях, веществах и т.п., могущих привести к деградации ОС и ухудшению здоровья человека.

Вся деятельность, направленная на достижение ЭБ может быть отражена следующей схемой:

Сбор данных --- оценка состояния и риска --- принятие управленческого решения

Экологический мониторинг

Упомянутая выше схема достижения ЭБ начинается со сбора информации о состоянии окружающей среды.

В конце 60-х годов прошлого века многие страны осознали, что необходима координация усилий по сбору, хранению и переработке данных о состоянии ОС. В 1972 году в Стокгольме прошла конференция по охране окружающей среды под эгидой ООН, где впервые возникла необходимость договориться об определении понятия «мониторинг». Решено было под мониторингом ОС понимать комплексную систему наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния ОС под влиянием антропогенных факторов.

В настоящее время под **мониторингом** понимают совокупность наблюдений за определенными компонентами биосферы, специальным образом организованными в пространстве и во времени, а также адекватный комплекс методов экологического прогнозирования.

Основные задачи экологического мониторинга: наблюдение за состоянием биосферы, оценка и прогноз ее состояния, определение степени антропогенного воздействия на ОС, выявление факторов и источников воздействия.

В конечном счете, целью экологического мониторинга является оптимизация отношений человека с природой, экологическая ориентация хозяйственной деятельности.

Экологический мониторинг возник на стыке экологии, биологии, географии, геологии и других наук.

Различают различные виды мониторинга в зависимости от критериев:

- биоэкологический (санитарно-гигиенический);
- геоэкологический (природно-хозяйственный);
- биосферный (глобальный);
- геофизический;
- климатический;
- биологический;
- здоровья населения и др.

Особую роль в системе экологического мониторинга играет биологический мониторинг, т.е. мониторинг биотической составляющей экосистем.

Биологический мониторинг – это контроль состояния ОС с помощью живых организмов. Главный метод биологического мониторинга – биоиндикация, который заключается в ре-

гистрации любых изменений в биоте, вызванных антропогенными факторами. В биологическом мониторинге могут быть использованы не только биологические, но любые другие методы, например, химический анализ содержания загрязняющих веществ в живых организмах.

В нашей стране различают три уровня экологического мониторинга ОПС: глобальный, региональный и локальный. Цели, методические подходы и практика мониторинга на разных уровнях отличаются.

Наиболее отчетливо критерии качества ОПС определены на локальном (импактном) уровне. Здесь цель регулирования – обеспечение такой стратегии, которая не выводит концентрации определенных приоритетных антропогенных загрязняющих веществ за допустимый диапазон, который является своего рода стандартом. Он представляет собой величины предельно допустимых концентраций.

Задачей мониторинга на локальном уровне является определение параметров моделей «поле выбросов – поле концентраций». Объектом воздействия на локальном уровне является человек.

На региональном уровне подход к мониторингу основан на том, что загрязняющие вещества, попадая в ОПС, рассеиваются, включаются в круговорот веществ в биосфере, изменяют состояние абиотической составляющей и, как следствие, вызывают изменения в биоте (экзогенные сукцессии).

Любое хозяйственное мероприятие, проводимое в масштабе региона, сказывается на региональном фоне, – изменяет состояние равновесия абиотической и биотической компоненты. Так, например, состояние растительного покрова, в первую очередь лесов, существенно влияет на климатические условия региона.

Глобальный экологический мониторинг. Особенно сложны проблемы именно этого вида мониторинга. До сих пор цели такого мониторинга недостаточно четко сформулированы. Кроме того, мониторинг на локальном и региональном уровнях, как правило, является внутригосударственной задачей, тогда как глобальный – задача мирового сообщества, ибо он отвечает интересам всего человечества.

На практике цели глобального мониторинга определяются в ходе международного сотрудничества в рамках различных международных организаций, соглашений (конвенций) и деклараций.

Как уже упоминалась, идея создания Глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС) была высказана на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде в 1972 г. Реальные основы ГСМОС были заложены на специальной встрече в Найроби (Кения) в 1974 г., где была уточнена роль агентств и государств – членов ООН.

Основы ГСМОС в СССР были разработаны академиком Ю.А.Израэлем и доложены на заседании Совета управляющих ЮНЕП в 1974 г. Отличительной особенностью концепции Ю.А.Израэля было слежение за антропогенными изменениями в ОПС.

Хорошо известно, что со временем происходят естественные изменения климата, сезонные изменения биомассы растений и животных. Эта информация давно используется человеком. Природные изменения происходят сравнительно медленно, за большие промежутки времени. Их регистрируют различные геофизические, метеорологические, гидрологические, сейсмические и другие службы.

Антропогенные изменения развиваются гораздо быстрее, последствия их весьма опасны, так как они могут стать необратимыми. Для их установления необходимо иметь информацию о первоначальном состоянии объекта ОС, т.е. состоянии до начала антропогенного воздействия. Если такую информацию получить невозможно, то она может быть реконструирована по имеющимся данным, полученным за относительно большой промежуток времени, по результатам наблюдений за составом донных отложений в водных объектах, составом ледников, состоянием древесных колец, относящихся к периоду, предшествовавшему началу заметного антропогенного воздействия, а также по данным, полученным в местах, удаленных от источника загрязнения. Эти особенности определяют правомочность другого названия глобального мониторинга – **фоновый мониторинг**, или **мониторинг фонового загрязнения ОПС**.

В настоящее время создана мировая сеть станций фонового мониторинга, на которых осуществляется слежение за определенными параметрами состояния ОПС. Наблюдения охватывают все типы экосистем. Эта работа проводится под эгидой ЮНЕП.

Станции комплексного фонового мониторинга России расположены в биосферных заповедниках и являются частью глобальных международных наблюдательных сетей.

Цель ГСМОС – изучение Земли.

Задача изучения Земли как целостной природной системы поставлена Международной геосферно-биосферной программой (МГБП) и решается на основе широкого применения космических средств наблюдений. В рамках МГБП разработки проводятся в семи направлениях.

1. Закономерности химических процессов в глобальной атмосфере и роль биологических процессов в круговоротах малых газовых компонентов. Проекты этого направления ставят целью, в частности, анализ влияния изменений содержания озона в стратосфере на проникновение к земной поверхности ультрафиолетового излучения, оценку влияния аэрозолей на климат и т.п.
2. Влияние биогеохимических процессов в океане на климат и обратные влияния.
3. Изучение прибрежных экосистем и влияния изменений землепользования.
4. Взаимодействие растительного покрова с физическими процессами, ответственными за формирование глобального круговорота воды.
5. Влияние глобальных изменений на континентальные экосистемы.
6. Палеоэкология и палеоклиматические изменения, и их последствия.
7. Моделирование земной системы с целью прогноза ее эволюции.

В рамках последнего направления создаются численные модели в глобальном масштабе, делаются количественные оценки взаимодействия глобальных, физических, химически и биологических интерактивных процессов в земной системе на протяжении последних 100 тысяч лет.

В рамках МГБП изучаются биогеофизические круговороты углерода, азота, фосфора и серы, которые сейчас определяются как природными, так и антропогенными факторами.

Таким образом, задачи мониторинга состояния ОС в глобальном масштабе являются многокритериальными. Одной из них является определение величины допустимого воздействия на Землю, в частности на биосферу Земли.

Оценка экологического состояния

В общем виде понятие *оценка* обычно используется в значении: мнение, суждение, представление о качестве чего-либо. Оценка предполагает наличие объекта (что оценивается), предмета (какие стороны объекта подвергаются оценке) и субъекта (с каких позиций оценивается). Естественно, что любая оценка проводится не просто ради оценки, а для достижения какой-то определенной цели.

В нашем случае речь идет о качестве экологического состояния природной среды. Поскольку природная среда обеспечивает человека как живого существа (точнее населения Земли или отдельного ее региона) всеми необходимыми средствами существования: водой, воздухом, пищей, теплом, природными условиями для трудовой деятельности, отдыха и культурного развития, то, говоря о качестве экологического состояния природной среды, мы в первую очередь говорим о соответствии между возможностями природной среды обеспечить потребности общества и этими потребностями.

Поскольку антропогенное воздействие на природу часто влечет за собой негативные последствия, то возникает необходимость оценки меры их опасности для жизни и деятельности человека. В этом случае *оценка* рассматривается как способ выявления степени благоприятности или не благоприятности изменений природных систем с точки зрения тех или иных потребностей человеческого общества. В геоэкологии цель оценки состоит в том, чтобы определить в первую очередь ущерб от негативных последствий вмешательства человека и помочь выбрать наилучший вариант хозяйственного использования территории.

В случае оценки экологического состояния в качестве объекта выступают экосистемы разной степени трансформации.

В первую очередь оценке подлежат следующие стороны объектов исследования.

Во-первых, антропогенные изменения природных систем – направление, степень, скорости и пространственные масштабы изменений.

Во-вторых, экологическое состояние среды, ее качество с позиций жизни и деятельности человека.

Отсюда **оценка экологического состояния** – это соотнесение последствий изменения свойств природных систем с состоянием (или требованиями) субъекта. Одна и та же система разными субъектами может быть оценена неодинаково, поэтому ее оценка принципиально может быть многозначной, в то время как результат измерения однозначен.

В качестве субъектов оценки чаще всего выступают виды хозяйственной деятельности человека и сам человек (точнее – население конкретной территории). В связи с этим выделяют два основных направления оценивания – технологическое (производственное) и социально-

экологическое. В первом случае субъектами являются различные отрасли производства и соответственно им выделяют инженерно-строительную, сельскохозяйственную и другие виды оценок. Во втором случае рассмотрение изменений природных систем производится с позиций, определяющих условия жизни и здоровья человека. Здесь выделяют такие виды оценок, как медико-географическая, санитарно-гигиеническая, рекреационная и другие. В ряде случаев в качестве субъектов могут выступать характеристики гео- и экосистем в их естественном (неизменном) состоянии. Соотнесение этих характеристик с подобными показателями измененных комплексов называют **природной оценкой**.

По способам выражения различают экономическую и внеэкономическую оценки. Под экономической оценкой понимается стоимостное выражение последствий хозяйственной деятельности человека (затраты на охрану природы, расходы, связанные с сохранением здоровья и т.п.). Внеэкономическая оценка представляет собой оценку изменения качества природной среды, выраженную в любой форме, кроме стоимостной. Она может быть количественной и качественной, определяться в абсолютных показателях или условных величинах (например, в баллах) и охватывать прежде всего социальные, медико-географические и биологические последствия хозяйственной деятельности человека.

Критерии оценки можно разделить на природные и антропогенные, компонентные (частные) и комплексные (интегральные), количественные и качественные. Они должны выражать наиболее существенные признаки состояния гео- и экосистем. В качестве критериев оценки состояния последних могут быть использованы показатели изменений их структуры и признаки свойств отдельных компонентов систем. Они могут быть выражены как компонентными, так и комплексными показателями. Необходимость применения компонентных критериев связана с тем, что во многих случаях оценить природный комплекс в целом очень трудно, не оценив его отдельных сторон. Потребность же в комплексных (интегральных) показателях возникает тогда, когда необходимо дать оценку состояния гео- и экосистем не по одному свойству, а по сочетанию нескольких свойств. Оптимальным считается совместное использование и тех и других критериев.

В настоящее время в практике оценочных исследований чаще всего применяются нормативные показатели – санитарно-гигиенические и экологические критерии.

Санитарно-гигиенические и экологические критерии. Поскольку наиболее существенное воздействие человека на природу проявляется в загрязнении среды, лучше всего разработаны санитарно-гигиенические нормативы. Ключевым моментом санитарно-гигиенического нормирования является нахождение максимально недействующих доз (МНД) и минимально действующих доз (МДД).

Санитарно-гигиенические нормативы устанавливаются исходя из требований экологической безопасности населения (т.е. применительно к здоровью человека) на основании найденных МНД и МДД. К таким нормативам относятся в первую очередь нормы предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ в воздухе, водах, почвах и продуктах питания, а также нормы предельно-допустимых выбросов (ПДВ) в воздух и водоемы.

Разработка ПДК с целью предотвращения и оценки опасности загрязнения ОС для человека проводится с применением методов токсикометрии. Токсикометрия (термин впервые предложен в 1933 г. Н.С.Правдиным) является разделом токсикологии и представляет собой совокупность методов и приемов исследований для количественной оценки токсичности и опасности ядов.

Токсикология – это наука о вредном действии на человека, животных и растения химических веществ, поступающих в ОС в результате производственной деятельности человека.

Главная цель токсикологии – предупреждение, распознавание и лечение заболеваний химической этиологии, предупреждение и устранение отдаленных последствий вредного воздействия на индивидуумов и их потомство. Она включает большой набор исследований и показателей с обязательной оценкой смертельных эффектов, кумулятивности, кожно-раздражающего, кожно-резорбтивного (всасывающего), сенсибилизирующего (повышающего чувствительность), эмбриотропного действия, влияния на сердечно-сосудистую систему, репродуктивную функцию, исследование отдаленных эффектов (мутагенного, тератогенного (формирование уродств) и канцерогенного).

Большая часть исследований проводится в экспериментах на животных. Ряд данных получают в результате обобщения и статистического анализа данных наблюдений на производственных контингентах, некоторые – на людях-добровольцах (определение порогов воздействия, раздражающего и рефлекторного действия и т.п.). Исследования на людях возможны лишь в случае полной гарантии безопасности испытуемых в соответствии с Хельсинкской конвенцией и другими международными и национальными документами.

Основные принципы санитарно-гигиенического нормирования:

1. Принцип опережения токсикологических исследований по сравнению с внедрением в народное хозяйство.
2. Приоритет медицинских и биологических показателей в установлении нормативов по сравнению с другими требованиями (например, экономическими).
3. Концепция пороговости воздействия. **Порогом воздействия** называют величину концентрации химического вещества, которая вызывает переход из одного качественного состояния биологического объекта в другое.

В сущности, порог воздействия – это граница между МНД и МДД.

Концентрация пороговости воздействия – одна из самых спорных концепций токсикологии, вызывающая ряд возражений и продолжающая обсуждаться; и связана она с другой не менее дискуссионной проблемой – нормы и патологии. Однако за неимением ничего другого, эта концепция принимается при разработке нормативов как ее сторонниками, так и противниками.

Не вызывает возражения тот факт, что повреждения развиваются тогда, когда негативные процессы преобладают над позитивными, адаптационные возможности живого организма исчерпаны, а скорость восстановления измененных в результате воздействия яда функций и структур ниже, чем скорость деструктивных процессов.

Самостоятельным разделом токсикологии является промышленная токсикология. Все или почти все промышленные вещества являются ядами, но степень их вредности существенно различается. Для оценки «ядовитости» веществ в токсикометрии введено понятие **острой токсичности**, которую определяют на крысах и мышах как внутрижелудочную, внутрибрюшинную, ингаляционную и кожную. Параметрами токсичности являются ЛД₅₀ (летальная доза 50 – количество потребленного вещества, вызывающее гибель 50% всех животных) и ЛК₅₀ (летальная концентрация 50 – концентрация вещества, вызывающее гибель 50% всех животных).

Для сравнения же «ядовитости» промышленных веществ предложена **«непрерывная шкала токсичности»**, в которой за нулевую принята величина, обратная токсичности углекислого газа, ЛД₅₀ которого в опытах на мышах при 120-минутной экспозиции составляет около 10 мкМ/л. За 100% токсичности условно принята величина, обратная токсичности наиболее ядовитой группы фосфорорганических соединений (ФОС), ЛД₅₀ которых составляет 0,0001 мкМ/л.

Еще одной особенностью токсикометрии является использование такого показателя, как **зона острого воздействия**. Под ней понимают разрыв между дозами (концентрациями), вызывающими начальные признаки отравления, и дозами, (концентрациями), вызывающими гибель организмов. Например, амиловый спирт имеет очень узкую зону острого действия и считается опасным веществом, из-за того, что быстро приводит к острому отравлению.

Понятно, что получение всех этих характеристик вещества непосредственно на человеке невозможно. Все необходимые результаты получают в экспериментах на животных.

Для токсикометрии используют довольно большой набор экспериментальных организмов, включая обезьян. Одной из существенных проблем является различие в их чувствительности к воздействию химических веществ. Так, действие гистамина на мышей, крыс и морских свинок отличается по количественным параметрам токсичности в 600-3000 раз, брадикинина – 10000 раз. Следовательно, экстраполяция (т.е. перенос) полученных экспериментальных данных на человека, также является непростой задачей.

Наиболее надежные экстраполяции на человека получаются в том случае, если данные по токсичности у разных видов животных близки. Полагают, что в случае монотонности реагирования четырех видов лабораторных животных на яд (коэффициент видовых различий не более 3), совпадение чувствительности человека и лабораторных животных в острых (смертельных) эффектах наблюдается в 70% случаев, в хронических – в 90% случаев.

После этого небольшого экскурса, разъясняющего принципы определения ПДК, вернемся к нашей теме.

Итак, **ПДК** – это максимальная концентрация веществ, не влияющая отрицательно на здоровье людей настоящего и последующих поколений при воздействии на организм человека в течение всей его жизни.

ПДВ – это максимальный объем веществ в единицу времени, который не ведет к превышению ПДК в сфере влияния данного источника загрязнения.

В настоящее время насчитывается на первый взгляд большое число нормативов допустимого содержания веществ и энергии различного происхождения (химических, физических, биологических). Только ПДК для химических веществ установлено в воде водоемов около 1500, в атмосферном воздухе – более 450, в почве – более 100. Однако если вспомнить о том, что нау-

ке известно несколько миллионов химических веществ, то становится ясно, что мы ничего не знаем о большинстве загрязнителей.

Степень загрязнения ПС принято оценивать по кратности превышения ПДК и ПДВ, классу опасности (токсичности) веществ, допустимой повторяемости концентраций заданного уровня, количеству загрязняющих веществ. В случае одновременного присутствия нескольких загрязняющих веществ используются так называемые суммарные показатели. Так, при наличии веществ с одинаковой степенью вредности суммарный показатель загрязнения C_s может быть определен по следующей формуле:

$$C_s = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ПДК_i}$$

Правда, такой подход не всегда соответствует результатам токсикологических опытов, согласно которым связи «доза-эффект» во многих случаях носят нелинейный характер.

Система единых национальных санитарно-гигиенических нормативов (ПДК) уже с момента своего возникновения имела противников, а сейчас все чаще подвергается справедливой критике даже ее сторонниками. В частности, в некоторых регионах страны природный фон концентраций ряда химических веществ (например, металлов) весьма высок и превышает ПДК в несколько раз. Так, например, нормированное значение ПДК меди, хрома, никеля, титана в воде водных объектов (соответственно 0,001; 0,001; 0,01; 0,1 мг/л) не только ниже максимальных фоновых значений в поверхностных водах Урала и Приуралья, но даже ниже средних величин по всему региону. Таким образом, распространение величин ПДК на все регионы страны несостоятельно, или, по крайней мере, судить о степени загрязнения природных вод по превышению ПДК, по меньшей мере, не разумно.

По-видимому, нормативы ПДК, по крайней мере, для водоемов рыбохозяйственного использования должны разрабатываться для конкретных регионов с использованием тест-организмов из популяций этих регионов.

Токсикорезистентность организмов в разных зонах и регионах существенно различается, что связано не только с климатическими особенностями, но и с гидрохимическим режимом: минерализацией, буферностью, самоочищающей способностью. Приспособленность к фоновому уровню концентраций металлов, по-видимому, наследственно закреплена в поколениях. Многие исследователи полагают, что межрегиональная экстраполяция ПДК недопустима и необходим биогеохимический подход к регламентации техногенных воздействий на экосистемы.

Еще более странная ситуация возникает при разработке ПДК для некоторых элементов в питьевой воде. По мнению экспертов Всемирной организации здравоохранения, рекомендуемые значения ПДК для химических элементов, механизм влияния которых на организм человека до конца не ясен, должно устанавливаться исходя из предпосылки, что максимальное суточное потребление элемента с водой не должно превышать 10 % от рекомендуемого максимального потребления с пищей. Поскольку человек в среднем в сутки должен потреблять около 2 литров воды, а для большинства элементов соотношение их поступления в организм в составе пищи, воды и воздуха составляет 100:10:1 соответственно, то ПДК таких элементов должно устанавливаться из расчета содержания в одном литре не более 5% суточной потребности. А это еще более усложняет процесс разработки ПДК, поскольку кроме гигиенических исследований нужны еще исследования и по рациональному питанию.

Таким образом, несмотря на широкое использование в практике природопользования, санитарно-гигиенические критерии лишь частично отвечают требованиям экологической оценки. Значение ПДК территориально не дифференцированы, они не учитывают влияния реальной физико-географической ситуации (климата, геохимических условий, состава природных вод и т. п.). При их разработке часто не принимаются во внимание процессы превращения загрязняющих веществ при переходе из одной среды в другую, их миграционные свойства, способность накапливаться в отдельных компонентах экосистем и вызывать вторичное загрязнение. Наконец, санитарно-гигиенические нормы, установленные исходя из требований организма человека, не учитывают свойств других организмов. Допустимые для человека уровни загрязнения могут привести к нарушению состояния многих видов растений и животных, а соответственно их сообществ и экосистем в целом. И, наоборот, как видно из только что рассмотренного случая высокого фонового содержания некоторых металлов в водах Уральского региона, недопустимые для человека уровни содержания веществ могут быть совершенно безвредны для других живых организмов. Не учет этого может привести к серьезным финансовым потерям предприятиями в процессе природопользования, что тоже не в интересах человека.

Поэтому для оценки состояния и изменения ПС наряду с ПДК необходимо использовать и экологические критерии.

Экологические критерии – это структурно-функциональные показатели гео- и экосистем, характеризующие их естественное или измененное состояние.

В качестве экологических критериев могут применяться разные показатели, в т.ч. **экологические нормативы** – максимальные величины нагрузок на гео- и экосистемы, при которых их основные структурно-функциональные характеристики (продуктивность, интенсивность биологического круговорота, видовое разнообразие, устойчивость и др.) не выходят за пределы естественных изменений. Они призваны определить область и границы допустимого состояния ПС и дозволённого воздействия на их со стороны человека.

Поскольку эти нагрузки носят разный характер, то и экологические нормативы разные и степень их проработки также разная.

Наиболее полно разработаны нормативы сельскохозяйственного, лесохозяйственного, рекреационного воздействия на гео- и экосистемы, но они имеют преимущественно производственную, а не экологическую направленность (нормы выпаса скота, внесения удобрений и пестицидов, величины рекреационных нагрузок на ландшафты и др.).

Слабо разработаны нормативы допустимых преобразовательных воздействий (распашки, мелиорации, застройки земель), почти отсутствуют нормативные показатели, характеризующие функционирование гео- и экосистем в условиях естественного и антропогенного режимов.

Среди экологических критериев выделяют компонентные и комплексные критерии. Первые, используемые для оценки состояния и изменения отдельных компонентов природы (воздуха, вод, почв), достаточно репрезентативно характеризуют состояние ПС. Такими показателями являются состав атмосферного воздуха, радиационный и тепловой балансы территории, колебание речного стока, содержание гумуса в почве, лесистость территории и т.п. Особое место в этом ряду занимают **биоиндикаторы** – *виды и сообщества живых организмов (чаще всего растений), по состоянию которых можно судить о состоянии ПС*. По биоиндикаторам определяют продуктивность видов или сообществ, суммарную биомассу, видовое разнообразие и многое другое. По изменению их состояния можно с большой достоверностью установить изменения ПС под влиянием как естественных, так и антропогенных факторов.

К комплексным экологическим критериям относятся показатели, характеризующие гео- и экосистемы в целом. Они могут быть получены на основе интеграции компонентных критериев или путем нахождения общесистемных индикаторов. Один из способов получения интегрального показателя (X_s) может быть расчёт по формуле

$$X_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i k_i \quad (1)$$

где n – число компонентных критериев; x_i – какой-то выбранный показатель состояния компонента (в относительных величинах); k_i – весовой коэффициент показателя.

К сожалению, эта красивая формула не более чем выдумка теоретика, мало применимая на практике, поскольку определить значение весового коэффициента показателя очень трудно.

Поиск общесистемных индикаторов состояния и антропогенного изменения ПС – сложная и ещё нерешённая задача.

Предложен ряд показателей *количественно* характеризующих структуру и функционирование гео- и экосистем.

Среди них представляет интерес:

интенсивность биологического круговорота, определяемую как отношение массы ежегодной биологической продукции к общей биомассе;

естественная способность к самоочищению, обусловленная особенностями взаимосвязей и скоростью биологического круговорота;

энергетико-вещественный баланс ПС и другие.

В условиях городов показателем состояния среды может служить здоровье населения.

Предлагаемые критерии дают возможность оценить степень и направление изменений природных комплексов и их компонентов как во времени, так и в пространстве.

Для оценки состояния могут применяться *временные (динамические)* показатели, характеризующие скорость нарастания неблагоприятных изменений ПС (например, скорости накопления тяжёлых металлов в почве).

Пространственные критерии характеризуют размеры ареалов, в пределах которых проявляются антропогенные нарушения природных комплексов и их компонентов.

Критерии экологической оценки отдельных геосфер

Как уже было отмечено, оценка природных систем невозможна без оценивания свойств их отдельных компонентов. В связи с этим более подробно рассмотрим критерии, которые наиболее комплексно характеризуют состояние и изменение атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, растительности и животного мира.

Оценка экологического состояния **атмосферного воздуха** производится обычно с помощью санитарно-гигиенических критериев. Определяя степень загрязнения воздушного бассейна, учитывают частоту и кратность превышения ПДК поллютантов (загрязнителей), класс их опасности, биологическое действие загрязненного воздуха. В целях повышения надежности оценки результатов измерений и исключения случайных величин производится статистическая обработка данных.

В нашей стране качество атмосферного воздуха принято характеризовать стандартными градациями индексов СИ, НП и ИЗА. Первые две из этих величин дают оценку загрязнения воздуха конкретным загрязнителем.

СИ – это величина, характеризующая концентрацию загрязнителя в единицах ПДК. определяется по формуле

$$СИ = \frac{C_i}{ПДК_i},$$

где C_i – концентрация i – того вещества; $ПДК_i$ – среднесуточная ПДК этого вещества.

Величина СИ позволяет оценивать степень загрязнения воздуха как в конкретный момент времени (в момент забора пробы), так и в среднем за любой промежуток времени за который идет усреднение концентрации данного загрязнителя.

НП – наибольшая повторяемость превышения ПДК. Определяется как отношение количества дней, в которые СИ этого загрязнителя было больше единицы, к общему количеству дней в выбранном промежутке времени и выражается в процентах. Обычно НП определяют для месяца или года.

При значении величины СИ от 0 до 1, а НП от 0 до 9 загрязнение воздуха считается низким, мало влияющим на здоровье людей, при значениях 1-4 и 10-19 соответственно СИ и НП загрязнение воздуха повышенное, при 5-10 и 20-49 – высокое, неблагоприятное для здоровья людей, а при величинах СИ больше 10, а НП больше 50 – загрязнение очень высокое, очень неблагоприятное для здоровья.

Оценка качества воздуха по содержанию отдельных загрязнителей хотя и дает некоторое представление о степени опасности для человека такого воздуха, но не может быть исчерпывающей. Например, в воздухе содержатся несколько загрязнителей, для каждого из которых СИ немногим более единицы. Формально такое загрязнение хотя и повышенное, но все же мало влияющее на здоровье людей. Однако совместное действие этих веществ может оказать серьезное влияние на здоровье людей.

Для учета этого и введена в практику комплексная оценка качества атмосферного воздуха.

Для комплексной оценки степени загрязнения воздушного бассейна используется суммарный санитарно-гигиенический критерий – **индекс загрязнения атмосферы (ИЗА)**, определяемый по формуле

$$ИЗА = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_i}{ПДК_i} \right)^{k_i}, \quad (2)$$

где k_i – коэффициент, принимающий значение 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 соответственно для веществ 1, 2, 3, 4 класса опасности. Как видно из этой формулы ИЗА является не простым сложением СИ отдельных загрязнителей, а более сложным выражением, учитывающим опасность отдельных компонентов.

Теоретически можно рассчитать ИЗА, учитывающее все загрязнители, содержащиеся в атмосфере, однако практически сделать это невозможно, да и не нужно. Рассчитывая ИЗА, обычно учитывают вещества, вносящие наибольший вклад в загрязнение. Чаще всего ИЗА рассчитывают по пяти веществам, вносящим наибольший вклад в загрязнение.

Величины ИЗА₅ меньше 2,5, соответствуют чистой атмосфере; 2,5-7,5 – слабо загрязненной атмосфере; 7,5-12,5 – загрязненной атмосфере; 12,5-22,5 – сильно загрязненной атмосфере; 22,5-52,5 – высоко загрязненной атмосфере; более 52,5 – экстремально загрязненной атмосфере.

Оценка степени загрязнения **поверхностных и подземных вод** осуществляется по различным химическим, физическим и биологическим показателям.

Для совокупной оценки опасных уровней загрязнения водоемов поллютантами используется суммарный показатель химического загрязнения PXZ_{10} , определяемый по 10 максимально превышающим ПДК веществам. Этот показатель особенно эффективен в тех случаях, когда химическое загрязнение наблюдается сразу по нескольким ингредиентам, каждый из которых многократно превышает ПДК. Расчёт PXZ_{10} ведется по формуле, аналогичной формуле 2, но только k_i принимается для всех случаев равной 1.

Другим примером обобщенного критерия качества воды может служить **комбинаторный индекс загрязненности (КИЗ)**, рассчитываемый по следующей формуле:

$$КИЗ = \sum_{i=1}^m w_i ,$$

где w_i - оценочный балл, которым характеризуется состояние качества воды по i -тому ингредиенту:

$$w_i = a_i b_i ,$$

где a - балл, определяемый при помощи специальных таблиц в зависимости от кратности превышения ПДК; b - балл, оценивающий число случаев превышения ПДК.

По величине КИЗ устанавливается класс загрязнения воды. Всего выделяется пять классов:

- слабо загрязненная;
- загрязненная;
- грязная;
- очень грязная;
- недопустимо грязная вода.

Из-за большого числа различных соединений естественного и техногенного происхождения при оценке качества воды, помимо обычного химического анализа наиболее распространенных загрязнителей, необходимо проводить суммарную токсикологическую оценку воды, основанную на сочетании различных методов биотестирования.

Как таковое биотестирование представляет собой методический прием, основанный на оценке действия фактора среды, в том числе токсического, на организм, его отдельную функцию или систему организмов. В настоящее время существует большое количество методов, основанных на реакции на качество воды различных ферментов, клеточных культур, микроорганизмов и простейших организмов. При определении токсичности воды анализируются различные виды реакции тестобъектов при соприкосновении с анализируемой пробой.

Например:

- 1) выживаемость и плодовитость рачка дафния магна;
- 2) двигательная активность инфузорий, уход организмов из зоны воздействия химических веществ (хемотаксис);
- 3) количественная регистрация изменений интенсивности и степени реализации ряда поведенческих реакций брюхоногих моллюсков;
- 4) реакция биолюминесценции светящихся бактерий;
- 5) биоэлектрическая реакция водорослей (измерение электропроводности мембраны клеток);
- 6) ростовая реакция бактерий.

Однако большая часть разработанных биотестов не обладает высокой надежностью и чувствительностью и не может использоваться на водах с широким диапазоном токсичности. Существенным препятствием для широкого применения биологических методов определения общей токсичности вод разного целевого назначения является также и сложность интерпретации полученных данных и вследствие этого использование в каждом биотесте для оценки качества тестируемой воды новых, не сравнимых друг с другом условных единиц. Неодинаковая чувствительность гидробионтов разных видов не позволяет решить проблему переноса результатов, полученных на каком-либо одном тест-организме, на другие виды гидробионтов.

По целям биологические методы можно разделить на две группы: универсальные методы оценки общей токсичности вод и методы индикации в воде определенных загрязнителей.

Эти цели должны являться главным фактором, определяющим методологию разработки биологического метода, выбор оптимальных тест-организмов и тест-функций. Другим важным вопросом является выбор оптимальных сроков тестирования. При выборе оптимального тест-

организма необходимо также учитывать его чувствительность и резистентность токсического действия внешней Среды. Чувствительность организма определяется такими малыми концентрациями токсикантов, при воздействии которых могут быть зарегистрированы какие-либо ответные реакции организма. Резистентность определяется максимальными концентрациями токсикантов, при воздействии которых организм еще может выжить. Из этого следует, что чувствительность и резистентность тест-организма определяют диапазон токсичности, в пределах которого будет возможна ее оценка.

Анализ основных закономерных процессов адаптации живых организмов, физиологических, поведенческих и экологических особенностей гидробионтов позволяет сформулировать ряд положений о тест-организмах и тест-операциях.

Оптимальные тест-организмы должны удовлетворять требованиям:

1. Используемые для тестирования особи должны быть генетически однородными, что обеспечит сходство их чувствительности и резистентности, единообразие ответных реакций на воздействие токсикантов.

2. Функциональная активность тест-организма не должна иметь сезонной периодичности.

3. Все виды, используемые как тест-организмы, должны иметь высокий уровень метаболизма, что обеспечит быстроту возникновения у них ответных реакций на воздействие токсикантов.

4. Тест-организмы должны быть стрессоустойчивы к связанным с процедурой тестирования операциям.

Таким требованиям в наибольшей степени отвечают беспозвоночные гидробионты, например, ракообразные и брюхоногие моллюски. Следовательно, именно они являются наиболее перспективными тест-организмами.

Большинство методов биотестирования разработано для поверхностных вод с большим содержанием растворенного кислорода. Актуальной задачей представляется выделение двух — трех наиболее простых и эффективных методов для определения в подземных водах токсикантов и введение этих методов в ГОСТ.

Оценка экологического состояния **почв** производится с помощью химических, физических и биологических критериев, а также по показателям деградации сельскохозяйственных угодий.

В частности, широко используется сравнение фактического содержания загрязнителя с его ПДК. В зависимости от превышения ПДК степень загрязнения земель делится на 5 уровней: 1 — допустимый; 2 — низкий; 3 — средний; 4 — высокий; 5 — очень высокий.

Интересно, что земли, загрязненные разными веществами, но с одинаковой степенью превышения могут быть отнесены к разным уровням загрязненности.

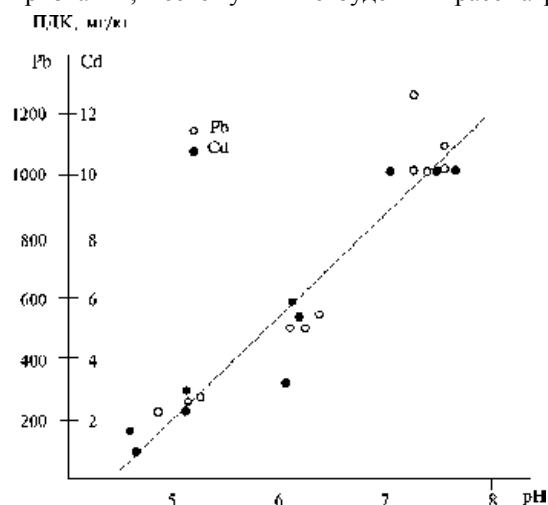
		1 уровень допустимый	2 уровень низкий	3 уровень средний	4 уровень высокий	5 уровень очень высокий
		Неорганические соединения				
Кадмий	<ПДК	1-3	3-5	5-20	> 20	
Свинец	<ПДК	1-125	125-250	250-600	> 600	
Ртуть	<ПДК	1-3	3-5	5-10	> 10	
Мышьяк	<ПДК	1-20	20-30	30-50	> 50	
Цинк	<ПДК	1-500	500-1500	1500-3000	> 3000	
Медь	<ПДК	1-200	200-300	300-500	> 500	
Кобальт	<ПДК	1-50	50-150	150-300	> 300	

Техногенные аномалии обычно имеют полиэлементный состав, в связи с чем Ю.Е. Саеом предложен *суммарный показатель загрязнения (Zc)*, характеризующий степень загрязнения ассоциации элементов относительно фона:

$$Zc = S Kc - (n - 1),$$

где K_c — коэффициенты техногенной концентрации больше 1 (или 1,5), n — число элементов с $K_c > 1$ (или 1,5). Суммарные показатели загрязнения рассчитываются для различных компонентов ландшафта — почв, снега, растений, донных отложений.

Для оценки антропогенных изменений ПС в целом предложено большое количество разных методов, однако ни один из них не получил широкого распространения и официального признания, поэтому мы не будем их рассматривать. А вот на одном из возможных способов



отображения антропогенного изменения ПС остановимся.

Антропогенное воздействие на природу и изменения в ней часто ведут к ухудшению среды обитания людей, а нередко угрожают здоровью и самой жизни населения. В связи с этим возникло понятие «**геоэкологическая ситуация**», т.е. такое состояние нарушенности гео- и экосистем, которое оказывает существенное (часто негативное) влияние на жизнь и деятельность человека. Чаще всего она выделяется по сочетанию ряда экологических проблем, проявляющихся в пределах определенной территории. Основная причина возникновения геоэкологических ситуаций — существенное превышение природно-ресурсного и экологического потенциалов ландшафтов. По пространственным масштабам проявления обычно выделяют локальные, региональные и глобальные геоэкологические ситуации. Исследования показывают, что степень остроты геоэкологической ситуации зависит прежде всего от глубины изменения природных условий и их последствий.

Разные авторы выделяют от 4 до 6 степеней антропогенных изменений в ПС. Наиболее часто применяют деление экологического состояния территории на четыре уровня:

При **удовлетворительной** геоэкологической ситуации антропогенное воздействие на ПС не достигает критических величин, изменения в средо- и ресурсообразующих свойствах невелики и легко обратимы при снижении или прекращении нагрузок, загрязнение в большинстве случаев не превышает ПДК и практически не отражается на здоровье населения.

При **критической ситуации** антропогенные нагрузки, как правило, превышают установленные нормативные величины и экологические требования. В результате возникают значительные изменения ландшафтов, нарастает угроза истощению естественных ресурсов, ухудшаются условия проживания населения. Уменьшение или прекращение антропогенных нагрузок может привести к нормализации экологической обстановки и частичному восстановлению ландшафтов.

Кризисная геоэкологическая ситуация характеризуется нарушением структуры гео- и экосистем, разрушением механизмов саморегулирования и развитием необратимых изменений в природе. Происходит истощение природных ресурсов, загрязнение существенно превосходит допустимые пределы, что негативно отражается на здоровье населения.

Наконец, при **катастрофической** ситуации необратимые изменения структуры ведут к разрушению природных комплексов и соответственно сложившейся системы природопользования. Антропогенные нагрузки и загрязнение многократно превышают допустимые границы. Как результат, происходит существенное ухудшение здоровья населения, утрата генофонда и уникальных природных объектов.

В законе РФ «Об охране окружающей природной среды» две последние категории геоэкологических ситуаций — кризисная и катастрофическая — характеризуются соответственно как «зона чрезвычайной экологической ситуации» и «зона экологического бедствия».

Как вы только, что слышали, причиной возникновения геоэкологической ситуации является антропогенная деятельность. Чаще всего антропогенное воздействие на ПС осуществля-

ется в результате производственной деятельности отдельных предприятий. В этой связи представляет интерес рассмотрение принятых в нашей стране способов классификации предприятий по их экологической опасности.

Разные ведомства в разное время предлагали разные способы ранжирования предприятий по их экологической опасности. В основе всех этих способов лежит принцип нормирования техногенных объектов по степени их опасности для здоровья человека.

В частности, ВНИИприроды были разработаны рекомендации по выявлению источников опасного загрязнения атмосферного воздуха. В этом документе ранжирование предприятий по степени экологической опасности осуществляется на основе санитарно-гигиенической концепции нормирования выбросов по величинам опасности выбрасываемого вещества (КОВ), зависящего от величины годового выброса, среднесуточной величины ПДК и класса опасности вещества.

В недрах Госкомэкологии было разработано «Временное положение о порядке взаимодействия федеральных органов исполнительной власти при аварийных выбросах и сбросах загрязняющих веществ и экстремально высоком загрязнении окружающей природной среды», в котором ранжирование опасности промышленных предприятий проводится по уровням возможного экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) всех природных сред. В частности, согласно этого документа, предприятие относится к категории «*экологически опасное*», если на предприятии возможно или когда-нибудь отмечалось *экстремально высокое загрязнение*. Под этим понятием скрывается такое загрязнение воздуха, при котором содержание одного или нескольких ЗВ в атмосфере превышает ПДК (с нормированием учета времени от момента возникновения ЭВЗ до момента его обнаружения):

- в 20-29 раз при сохранении этого уровня более 2 суток;
- в 30-49 раз при сохранении этого уровня не менее 8 часов;
- в 50 и более раз без учета времени сохранения ЭВЗ.

Визуальными органолептическими (т.е. фиксируемыми органами чувств) признаками ЭВЗ также служат:

- появление устойчивого, не свойственного данной местности (сезону) запаха;
- обнаружение влияния воздуха на органы чувств человека (резь в глазах, слезотечение, привкус во рту, затрудненное дыхание, покраснение и другие изменения кожи, рвота и т.д. одновременно у нескольких десятков человек);
- выпадение окрашенных дождей и других атмосферных осадков;
- появление у осадков специфического запаха или несвойственного привкуса.

Иной подход к определению опасности предприятия заложен в методике Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Росгидромет определил, что контролю подлежат опасные предприятия, для выбросов в атмосферу которых выполняются неравенства:

$$\frac{M}{ПДК} * H_{cp} > 0,01 \quad (\text{при } H_{cp} > 10 \text{ м}),$$

$$\frac{M}{ПДК} * H_{cp} > 0,1 \quad (\text{при } H_{cp} < 10 \text{ м}),$$

где M (г/с) – суммарная величина выброса вредного вещества от всех источников предприятия; $ПДК$ (мг/м³) – максимальная разовая ПДК; H_{cp} (м) – средняя по предприятию высота источников выброса, которая определяется как отношение суммы произведений суммарных выбросов в интервале высот 0-10, 11-20, 21-30 и т.д. и средней высоты – к полному выбросу:

$$H_{cp} = \frac{5M_{0-10} + 15M_{11-20} + 25M_{21-30} + \dots}{M}.$$

Разные предприятия подлежат разной периодичности контроля, которая в свою очередь зависит от *категории опасности предприятия* (КОП). КОП оценивается по формуле:

$$КОП = n \sum \left(\frac{M_i}{ПДК_i} \right)^{a_i},$$

где M_i – масса выброса i -го вещества (т/год), $ПДК_i$ – среднесуточная ПДК i -го вещества ($мг/м^3$) в воздухе населенных мест (н.м.), n – количество загрязняющих веществ (по перечню), выбрасываемых предприятием, a – коэффициент, учитывающий класс опасности i -го вещества, принимающий значение 1,7; 1,3; 1,0; 0,9 соответственно для веществ 1, 2, 3, 4 класса опасности.

При отсутствии официально принятой среднесуточной ПДК н.м. для расчетов берут максимальную разовую ПДК н.м., или соответствующий ориентировочный безопасный уровень вредности (ОБУВ), или уменьшенный в 10 раз ПДК воздуха рабочей зоны (р.з.).

При $M/ПДК < 1$ значение КОП не рассчитывают, а предприятие вообще не учитывают как опасное.

По существу, при таком подходе *категория опасности предприятия является суммой категорий опасности загрязняющих веществ*. Сами предприятия при этом делят на 4 категории опасности:

особоопасные	(1-я категория) – при КОП > 1000000;
опасные	(2-я категория) – при КОП от 10000 до 1000000;
малоопасные	(3-я категория) – при КОП от 1000 до 10000;
практически безопасные (4-я категория)	– при КОП < 1000.

Более поздние варианты трактовки этой методики вовсе исключают 4-ую категорию.

Категории опасности предприятия (в трактовке Росгидромета) имеют первостепенное значение для организации мониторинга источников загрязнения и во многом определяют его задачи.

Предприятия 1-ой категории опасности относительно малочисленны, но имеют или высокие значения валовых выбросов и/или выбросы загрязняющих веществ 1-го класса опасности. Поэтому они являются самыми опасными и должны находиться под наиболее пристальным контролем. Плановый контроль за такими предприятиями осуществляется 1 раз в 6 месяцев. За предприятиями 2-ой категории – раз в год, за 3-ей категорией – раз в 3 года. Для всех остальных предприятий устанавливается *выборочная* контрольная проверка 1 раз в 5 лет, т.е. для конкретного предприятия 4-ой группы она вовсе и не обязательна.

Экологическая экспертиза

Заботясь о своей безопасности, человек вынужден вырабатывать специальные виды деятельности, содержанием которых является анализ сложившейся ситуации и разработка мер по управлению проблемной ситуацией. Одной из таких отраслей деятельности является экологическая экспертиза.

Экологическая экспертиза (ЭЭ) – это оценка уровня возможных негативных воздействий намечаемой хозяйственной или иной деятельности на ОПС и природные ресурсы.

Функция ЭЭ состоит в обеспечении экологической безопасности развития общества, его производительных сил, прежде всего самого человека, его жизни и здоровья, а также окружающей его среды, без должного качества которой невозможно нормальное существование ни индивидуума, ни общества.

Отсюда вытекает и **цель ЭЭ**: определение экологической обоснованности как намечаемых, так и уже принятых решений (с целью их корректировки или отмены), если их реализация может повлечь за собой или уже оказывает негативное воздействие на здоровье населения, качество окружающей среды со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Основные принципы ЭЭ:

1. ЭЭ должна иметь императивный характер, т.е. без нее ни одному ведомству или проекту не должно даваться разрешение на реализацию и открываться финансирование. Пока не доказана безвредность любого проекта, он не должен быть реализован.
2. Приоритет должен быть отдан медико-биологической безопасности, т.е. обеспечению здорового и безопасного существования человека. Такой подход должен способствовать замещению наиболее материалоемких и энергоемких технологических систем замкнутыми (малоотходными), экологически более чистыми технологиями.
3. Обсуждение проектов или работы действующих предприятий в процессе эксплуатации должно быть гласным; должно учитываться общественное мнение; общественность не должна отстраняться от обсуждения по мотивам непрофессионализма.

4. ЭЭ должна быть независимой и осуществляться специалистами, не работающими и не связанными какими-либо обязательствами с организациями-проектировщиками, заказчиками и исполнителями.
5. ЭЭ должна носить научно обоснованный, междисциплинарный и комплексный (многокритериальный) характер, опираться на оценки специалистов разного профиля: экологов, биологов, инженеров, специалистов по системному характеру и т.п.

Составной частью и начальным этапом ЭЭ являются материалы по **оценке воздействия на окружающую природную среду (ОВОС)**, которая проводится заказчиком проекта и включает анализ, обобщение и распространение информации о таком воздействии, и необходимые меры охраны. При проведении ОВОС, как минимум, должно учитываться:

1. Экологическая емкость территории;
2. Состояние ОС в месте планируемого размещения объекта;
3. Перспективы социально-экономического развития региона;
4. Мощности и виды воздействия объекта на окружающую природу;
5. Требования природоохранного законодательства.

Основополагающим критерием проведения ЭЭ является степень риска нанесения ущерба окружающей среде. До начала 80-х годов XX века, когда ЭЭ проходила начальный этап своего формирования, итог ее трактовали однозначно: «разрешено – значит абсолютно безопасно». В настоящее время подход к ЭЭ качественно изменился. Исследования в области анализа риска технологий показали, что прежняя концепция экологической безопасности, основанная на критериях регламентации химических веществ, должна уступить место концепции экологического риска. Согласно этой концепции, принятие оптимального с природоохранной точки зрения решения означает экономически и социально обоснованное сведение к минимуму отрицательного воздействия проектируемого объекта на экосистему и здоровье населения. При этом подразумевается, что полностью устранить такое воздействие невозможно.

Научно-методические основы экологического риска

Опасность и риск, – связанные между собой и взаимно зависимые разные социальные понятия. Они возникают в различных общественных отношениях, и, поэтому, могут рассматриваться как экономические, производственные, политические, экологические и другие. Опасность и риск проявляются в определенной ситуации. Для их оценки обязательна целевая установка, направленная на решение поставленной задачи.

Рассмотрим простой пример, иллюстрирующий различие между опасностью и риском. Вожждение автомобиля – это опасность, ее можно выразить с помощью той доли, которую составляет гибель людей а автомобильных авариях в общем количестве смертей, фиксируемых ежегодно в определенной стране. Так, в США шанс среднего американца погибнуть за рулем составляет примерно 3% от числа всевозможных случающихся смертей. Следовательно, американец, садясь за руль своей машины, подвергается опасности, а риск здесь – только в том, что он может попасть в те самые три процента, которые статистическое ведомство США подсчитает к концу текущего года. Надо еще учесть ущерб, связанный с аварийным состоянием автомобиля, потери страховой компании, расходы на похороны, моральный ущерб родственникам и т.д. Риск выступает здесь количественной мерой, учитывающей не только вероятность опасности, но и конкретизированные последствия ее проявления.

Опасность – *возможность, угроза чего-либо неблагоприятного, способного принести вред*. Опасности носят потенциальный, т.е. скрытый характер. Прежде чем будут приняты меры по устранению опасности, необходимо ее идентифицировать, т.е. обнаружить, установить количественные, временные, пространственные и иные характеристики, необходимые и достаточные для разработки профилактических и оперативных мероприятий, направленных на обеспечение жизнедеятельности человека и общества в целом. Условия, при которых реализуются потенциальные опасности, называются причинами. Причины характеризуют совокупность обстоятельств, благодаря которым опасности проявляются и вызывают те или иные нежелательные последствия.

Таким образом, термин «опасность» описывает возможность осуществления некоторых условий технического, природного, экономического и социального характера, при наличии которых могут наступить неблагоприятные события и процессы, например, природные катастрофы или бедствия, аварии на промышленных предприятиях, экономические или социальные кризисы. Следовательно, «опасность» – это ситуация, постоянно присутствующая в ОС и способная при определенных условиях привести к реализации в ОС нежелательного события. Со-

ответственно реализация опасности – это случайное явление, и возникновение опасной ситуации характеризуется вероятностью этого явления.

Риск, в отличие от опасности, нельзя рассматривать в отрыве от возможных последствий проявления данной опасности.

Риск – *количественная мера опасности с учетом ее последствий.*

Триада «опасность – причины – нежелательные последствия» – это логический процесс развития, реализующий потенциальную опасность в реальный ущерб. Следовательно, оценка риска должна быть связана с оценкой ущерба. Чем больше ожидаемый ущерб, тем значительнее риск. Кроме того, риск будет тем больше, чем больше вероятность проявления соответствующей опасности. Поэтому риск R может быть определен как произведение вероятности опасности рассматриваемого события или процесса P на магнитуду ожидаемого ущерба Z :

$$R=PZ. \quad (4.4)$$

Таким образом, понятие «риск» объединяет два понятия – «вероятность опасности» и «ущерб».

Под термином «**ущерб**» понимаются фактические и возможные социальные и экономические потери общества и (или) ухудшение состояния (качества) ПС.

Различают:

Социальный ущерб – это ущерб от безвозвратных потерь населения, сокращения сроков жизни, ухудшения здоровья и благополучия людей;

Социально-экономический ущерб – затраты на лечение и социально-трудовую реабилитацию, потери национального дохода, вызванные преждевременной смертностью и утратой трудоспособности;

Экономический ущерб – потери и убытки от повреждений (разрушений) объектов народного хозяйства, нарушений производственно-кооперативных связей;

Экологический ущерб – потери, которые нанесены ОС или ее отдельным компонентам.

Следовательно, ущерб может оцениваться качественно и количественно, в натуральных или денежных показателях.

Поскольку существуют разные виды ущерба, то, естественно, бывают разные разновидности риска. По мнению Рао Коллуру, имеется пять таких разновидностей:

- риски, угрожающие безопасности;
- риски, угрожающие здоровью;
- риски, угрожающие состоянию среды обитания;
- риски, угрожающие общественному благосостоянию
- финансовые риски.

Первая группа рисков обычно характеризуется малыми вероятностями, но тяжелыми последствиями; они проявляются быстро, к ним, в частности, могут быть отнесены несчастные случаи на производстве. Вторая группа рисков, напротив, обладает довольно высокой вероятностью и часто не имеет тяжелых последствий, многие из которых проявляются с определенной задержкой. Под рисками угрозы состоянию среды обитания понимается множество эффектов и связей между компонентами экосистем при наличии весьма существенных неопределенностей как в самих эффектах, так и их причинах. Риски, угрожающие общественному благосостоянию, обусловлены тем, как общество воспринимает и оценивает деятельность данного объекта (промышленного, сельскохозяйственного, военного и т.п.), в какой степени эта деятельность связана с рациональным использованием природных ресурсов, как она отражается на состоянии ОС; негативное восприятие деятельности рассматриваемого объекта проявляется быстро и оказывается устойчивым. Финансовые риски связаны с возможными потерями собственности или доходов.

Распределение рисков по перечисленным разновидностям во многом условно. Например, часто риски, сопряженные с угрозой состоянию среды обитания, одновременно являются рисками для жизни и здоровья человека.

Все перечисленные виды риска имеют непосредственное отношение к **экологическому риску (ЭР)**, под которым, по мнению ряда экспертов Агентства по защите окружающей среды США, *следует понимать совокупность рисков, угрожающих состоянию среды обитания и общественному благосостоянию.*

Экологическая опасность (ЭО) и **экологический риск (ЭР)** находятся в сфере взаимодействия общества и природы. Взаимоотношения человека и его действия, происходящие вне ОПС, к экологическим отношениям не относятся, а, следовательно, возникающие там опасность и риск также не относятся к экологическим, и будут подробно рассмотрены в курсе БЖД.

Критериями ЭО и ЭР является связь человека с природой, протекающие между ними процессы. Основой возникновения таких отношений служат **экологические факторы**, подразделяемые на **события** и **действия**.

Факторы, или условия, в которых протекает человеческая деятельность, могут быть природными и социально-хозяйственными.

События, которые возникают и порождают экологические отношения, происходят как с участием человека, так и помимо его воли. К первым относятся преднамеренные и случайные действия, например, не продуманные и совершенные по неосторожности. Вторые выступают как природные явления. Например, землетрясения и извержения вулканов, бури и наводнения. Но и они часто являются следствием непродуманной деятельности человека. Это стихийные бедствия, возникающие по чисто естественным причинам, но усугубляющиеся вследствие бездействия или неправильных действий человека. Таким образом, ЭР является следствием двух факторов – воздействия человека на ОПС, и природы на человека. ЭР может, также, проявиться при совместном участии двух указанных факторов, внешней и внутренней среды.

Действия, или антропогенная деятельность, рассматриваются как основная причина возникновения ЭР. В результате природопользования наносится вред ОС, а через нее прямо (непосредственно) или косвенно (опосредованно) человеку. Действия или поступки человека могут быть экологически позитивными и негативными. В результате первых ЭР снижается. Такие действия направлены на охрану, рациональное использование, восстановление или снижение нагрузок на ОПС. К увеличению ЭР приводят нарушения правил природопользования, конфликтные или противоречивые отношения между хозяйствующими объектами. В том случае, если отношения природопользования носят дополнительный характер, например, сбросы загрязнителей или отходы одного предприятия являются сырьем для другого, ЭР снижается.

В общем, ЭР определяется взаимодействием трех факторов: свойств природных объектов, в т.ч. условий и ресурсов; вида природопользования и уровня научно-технического прогресса.

В центре системы «общество – природа» стоит человек. В процессе природопользования внутри этой системы возникают противоречия. Эти противоречия заключаются в том, что, с одной стороны, общество имеет экономические интересы при использовании ОС для удовлетворения своих материальных потребностей, с другой стороны, общество имеет экологические интересы в виде чистой и биологически здоровой для жизни ОС. ЭР позволяет оптимизировать взаимосвязи людей с ОПС, как при эксплуатации природных ресурсов, так и в процессе проведения природоохранных мероприятий. Природопользование, не выходящее за нормативы допустимого ЭР, позволяет обеспечить экономическое и экологическое качество жизни. В свою очередь, величина ЭР зависит от уровня научно-технического прогресса, который может рассматриваться как ресурс и как условие. Грань между ними условна и проводится в зависимости от того, используется информация и технологии непосредственно в оценке ЭР, или являются совокупностью факторов.

По мнению уже упомянутых экспертов в начале 1990-х годов самыми серьезными ЭР были следующие:

- глобальное изменение климата;
- обеднение озонового слоя в стратосфере;
- изменение компонентов среды обитания;
- гибель популяций и потери в биологическом разнообразии.

Наиболее серьезными рисками, угрожающими здоровью людей, эти же эксперты признавали:

- загрязнение атмосферного воздуха;
- накопление радиоактивного газа радона в помещениях;
- загрязнение воздуха помещений;
- загрязнение питьевой воды;
- присутствие химических загрязнителей на рабочих местах;
- загрязнение почв и вод пестицидами;
- обеднение озонового слоя в стратосфере.

При проведении социологических опросов, направленных на выявление приоритетов в обеспокоенности людей состоянием ОС, выяснилось, что люди не отделяют экологические риски от рисков, угрожающих здоровью. Более того, признание людьми риска как «очень серьезного» не совпадает с мнением экспертов, что видно из приведенного ниже перечня (в скобках указан процент опрошенных, классифицировавших соответствующий экологический риск как «очень серьезный»):

1. Действующие полигоны захоронения опасных отходов (67%);

2. Недействующие (старые) полигоны захоронения опасных отходов (65%);
3. Загрязнение воды стоками промышленных предприятий (63%);
4. Химические токсиканты на рабочих местах (63%);
5. Разливы нефти и нефтепродуктов (60%);
6. Разрушение озонового слоя (60%);
7. Аварии на атомных электростанциях (60%);

-
19. Парниковый эффект (48%);
 20. Загрязнение питьевой воды (46%).

Сравнение этого перечня с приведенными выше мнениями экспертов показывает, что простые люди и специалисты по-разному оценивают важность того или иного экологического риска. Так, опрос общественного мнения не выявил повышенной обеспокоенности населения ни глобальным изменением климата, ни воздействием радона, ни сокращением биологического разнообразия, но обнаружил опасения людей действующими и недействующими захоронениями опасных отходов, авариями на атомных станциях, о которых эксперты вообще не упоминают.

О причинах такого расхождения мы поговорим позже.

Как мы уже говорили, основная причина возникновения ЭР это деятельность человека. Разные виды деятельности и их последствия вносят разный вклад в техногенную нагрузку на ОС. В частности, по данным SETAC (одна из организаций США) за период с 1980 по 1993 годы основной вклад в эту нагрузку вносили тяжелые металлы (28%), органические токсиканты (прежде всего полициклические ароматические углеводороды) (27%), смешанные отходы (20%) и пестициды (15%).

Если учесть распределение перечисленных источников экологической опасности и риска по различным компонентам ОС, то окажется, что основную техногенную нагрузку берут на себя поверхностные воды (53%), осадки (32%) и почвы (12%), поскольку пути и механизмы переноса выше названных веществ почти всегда идут через воду.

«Общество риска» и особенности принятия рискованных решений

Социологическая теория «общества риска»

В середине 1980-х годов появилась новая социологическая теория современного общества, автором которой является немецкий ученый Ульрих Бек. Согласно этой теории, в последней четверти XX века человечество вступило в новую фазу своего развития, которую следует называть обществом риска. Общество риска – это постиндустриальная формация, отличающаяся от индустриальной рядом коренных особенностей. Главное отличие состоит в том, что, если для индустриального общества характерно распределение благ, то для общества риска – распределение опасностей и обусловленных ими рисков. В индустриальном обществе происходило появление все новых и новых факторов, улучшающих жизнь людей (рост урожайности, автоматизация, прогресс в медицине и фармакологии и т.п.), т.е. возникало и распределялось то, что приносило в целом хорошее. В обществе риска складывается иная ситуация: по мере его развития появляется все больше плохого, и это плохое распределяется между людьми. Сокращение биологического разнообразия, загрязнение воздуха и воды химическими веществами, истощение озонового слоя, тенденция к изменению климата – все это привело и продолжает приводить к созданию разнообразных опасностей и рисков. Таким образом, в индустриальном обществе производились и распределялись главным образом положительные достижения, а в обществе риска накапливаются и распределяются между его членами негативные следствия развития последнего.

Основные характеристики общества риска:

1. Риск "демократичен" (всеобщ и неустрашим);
2. Современные опасности не воспринимаются органами человеческих чувств, риски объективно существуют лишь в форме знаний о них. Поэтому наука становится мощной политической силой.
3. Снижается монополия естественных наук на определение риска.

Когда "исключительные условия" превращаются в норму повседневного бытия, люди перестают думать об опасностях. Этот "экологический фатализм" "позволяет маятнику индивидуальных и общественных настроений качаться в любом направлении". Общество риска переходит от истерии к отрешённости, и наоборот.

Конечно, и ранее в индустриальном обществе имели место опасные события и процессы. Однако опасности, проявляющиеся в обществе риска, принципиально отличаются от преж-

них тем, что они не имеют границ ни в пространстве, ни во времени. Для этих опасностей не существует государственных границ – можно привести немало примеров экологического риска, причины которого находятся в одних странах, а места проявления – в других. Так, в Канаде весьма существенное влияние промышленных выбросов предприятий США, а в странах Скандинавии – Германии. В этом смысле человечество приближается к общемировому обществу риска. Отсутствие границ во времени означает, что экологический риск распространяется на будущие поколения людей. Например, сейчас при захоронении ядовитых отходов часто никто не знает, каковы последствия воздействия на людей и на биосферу вообще того или иного токсиканта, эти проблемы придется решать в будущем.

Для возникновения общества риска необходимы два объективных условия. Во-первых, оно возникает прежде всего там, где материальные потребности людей могут быть в значительной степени удовлетворены. Во-вторых, темпы и степень развития производительных сил должны быть такими, что наработка и активизация побочных, существенно отрицательных явлений и процессов приобретает невиданные до того масштабы. Если в индустриальном обществе главное противоречие – распределение благ, то в обществе риска главные проблемы иные:

- как предотвратить, ограничить или свести к минимуму опасности и риски, которые все в большей степени сопровождают развитие;
- где, когда и как проявятся пока еще скрытые (латентные) негативные эффекты;
- каким образом вести управление рисками с целью такого их распределения, при котором, с одной стороны, не тормозился бы научно-технический прогресс, а с другой стороны, – соблюдались бы требования (экологические, медицинские, психологические и социальные) приемлемости риска?

В новых условиях изменился смысл самого понятия «риск». Раньше риски были как правило, индивидуальные и по большей части, добровольные. Так, Колумб знал, что рискует собственной жизнью и жизнями своих спутников, но он считал это допустимым риском, и в его власти было принимать рискованные решения. В новых условиях нависшие над природой и человечеством опасности лишают риски индивидуального характера, экологические риски становятся глобальными. Кроме того, экологические риски все труднее понять и осознать – сущность их действия в загадочных для простого человека химических или физических формулах. Еще одна важнейшая особенность экологических рисков обусловлена количеством новых технологий, вводящих в биосферу такое количество новых веществ, что делает практически невозможной оценку всех вызываемых последствий.

Подобно классовому обществу, общество риска поляризовано, но эта поляризация «наоборот». В классовом обществе богатства и блага сосредоточены на вершине социальной пирамиды, а в обществе риска – риски сосредоточены внизу, в ее основе. Это касается и ЭР – компании и фирмы развитых стран выносят свои вредные производства в бедные страны. Казалось бы, богатые классы и страны могут «откупиться» от ЭР. Однако в обществе риска действует так называемый «эффект бумеранга», поскольку экологические катастрофы не знают ни границ, классовых различий. Что касается «экспорта вредных производств», то «эффект бумеранга» проявляется и здесь. Выращенные в бедных странах культуры – кофе, какао, фрукты – все в большей степени оказываются загрязненными. Ясно, что ввоз таких продуктов в развитые страны сопровождается риском для их населения. Таким образом, рано или поздно риску подвергнутся и те, кто вначале извлекал пользу из развития опасных технологий.

Про общество риска можно сказать, что его настоящее зависит от будущего. Это означает, что требуют учета и рассмотрения все опасные последствия современных технологий и обусловленных ими рисков. В обществе риска на смену солидарности потребителей должна прийти солидарность тревоги, которая может стать важной политической силой (пример «зеленые»).

Особенности принятия рискованных решений

Задачи, связанные с оцениванием ЭР и разработкой мер по его снижению, требуют собственного математического подхода, для чего может быть использован аппарат теории принятия решений, основой которого является так называемый метод деревьев. К числу достоинств этого метода относят удобство и наглядность графического представления, а также существенное облегчение расчетов на компьютерах. Метод деревьев особенно эффективен в тех случаях, когда сложная проблема может быть расчленена на то или иное количество сравнительно простых задач, каждая из которых решается отдельно, а затем производится своеобразный синтез сложного решения. Подобно обычному дереву, дерево решений содержит различные части – ствол и разные по величине ветви, причем все они формируют единый организм, поведение которого

управляется законами теории вероятности. Применяемый при этом математический аппарат достаточно сложен, и вряд ли может быть адекватно воспринят данной аудиторией, поэтому попытаемся рассмотреть его основы в предельно упрощенном виде на одном простом примере из жизни врачей. Конечно, к экологии этот пример не имеет никакого отношения, однако позволяет понять принцип метода.

Предположим, что лечащий врач должен решить, следует ли делать операцию пациенту, у которого подозревается серьезное заболевание. Если у данного пациента действительно есть заболевание, и если ему сделать операцию, то шанс на выздоровление считается равным 50%. Без операции этот шанс снижается в 10 раз и составляет всего 5%, т.е. надеяться на выздоровление можно лишь в одном случае из 20. В то же время, если у пациента нет заболевания и он подвергается операции, то вероятность вызванного ее последствиями смертельного исхода отнюдь не мала: один шанс из 5, т.е. 20%. Если же заболевания нет и нет операции, то вероятность смерти можно считать нулевой. Спрашивается, какое решение должен принять врач? Добавим, что при построении дерева любые последствия будут приводить к одной и той же альтернативе: выздоровление или смерть.

Так как врач поставлен перед необходимостью принять одно из двух решений, делать или не делать операцию, то дерево будет начинаться с узла решений с двумя отходящими ветвями «делать операцию» и «не делать». Эти ветви подходят к узлам случаев, каждый из которых дает новую пару ветвей, связанных с наличием или отсутствием заболевания. Какие вероятности надо приписывать ветвям «есть» и «нет заболевания» в условии задачи ничего не сказано о надежности диагноза, поэтому можно сделать несколько оценок этой надежности. Пусть вероятность правильного диагноза составляет 0,75, тогда это значение нужно приписать ветви «есть», в то время как ветви «нет» будет соответствовать вероятность неправильно поставленного диагноза, т.е. 0,25.

Ветви «есть заболевание» и «нет заболевания» идут от узлов случаев и заканчиваются новыми узлами случаев, после которых каждый раз имеем разветвление «выздоровление – смерть». Однако вероятности этих исходов каждый раз существенно разные. Следуя направлению «делать операцию» - «есть заболевание» подойдем к узлу случаев, после которого шансы на выздоровление и летальный исход, по условию задачи, одинаковы (вероятность 0,5), при направлении «делать операцию» - «нет заболевания», подойдем к узлу, за которым вероятность выздоровления составит 0,8, а вероятность смерти – 0,2. Направление «не делать» – «есть заболевание» дает узел с разветвлением, при котором вероятность выздоровления 0,05, а вероятность смерти 0,95. Наконец, направление «не делать» – «нет заболевания» приводит к последнему узлу случаев, новые ветви которого характеризуются стопроцентным выздоровлением.

Так как все терминалы (концы ветвей) дерева представляют одну и ту же пару конечных результатов, то достаточно ввести всего две условных оценки последствий требуемого решения. Например, оценим смертельный исход нулем, выздоровление – показателем, равным 100.

Анализ дерева решений ведется от его терминалов к стволу. Все узлы случаев характеризуются математическими ожиданиями показателей ценности последствий, и по ним выбирается ветвь на основе максимизации.

Начнем анализ с верхнего правого узла. Этому узлу следует приписать математическое ожидание показателя последствий, равное сумме произведений вероятностей на соответствующие им возможные значения этого показателя: $0,5 \cdot 100 + 0,5 \cdot 0 = 50$. Второй узел вниз $0,8 \cdot 100 + 0,2 \cdot 0 = 80$. Третий узел вниз $0,05 \cdot 100 + 0,95 \cdot 0 = 5$. Последний узел вниз $1 \cdot 100 + 0 \cdot 0 = 100$.

Далее рассматриваем второй ряд узлов. Верхний узел $0,75 \cdot 50 + 0,25 \cdot 80 = 57,5$. Нижний узел $0,75 \cdot 5 + 0,25 \cdot 100 = 28,75$. Остался узел решений. Согласно принципа максимизации (наибольшая величина 57,5) необходимо принять решение «делать операцию».

Проведенный анализ позволяет дать количественную оценку снижения риска для принятия решения «делать операцию». Она представляет собой отношение чисел 57,5 и 28,75. Поделив первое на второе, получим 2, т.е. в данном случае операция снижает риск летального исхода в два раза. Теперь должно быть понятно, почему не имела значения абсолютная величина показателя ценности последствий решения, – она сокращается при делении первой величины на вторую.

Легко подсчитать, что если принять диагноз абсолютно надежным, то решение «делать операцию» станет предпочтительней не в 2, а в 10 раз. Иными словами, в новых условиях диагностики операция снижает риск смерти в 10 раз.

Метод деревьев легко реализуется на современных компьютерах, так как он требует выполнения всего двух операций: подсчета математического ожидания и максимизации. Поэто-

му анализируя различные виды экологического риска, можно строить и анализировать деревья с тысячами ветвей и узлов, при этом основная трудность состоит в представлении информации в удобном для ввода в компьютер виде.

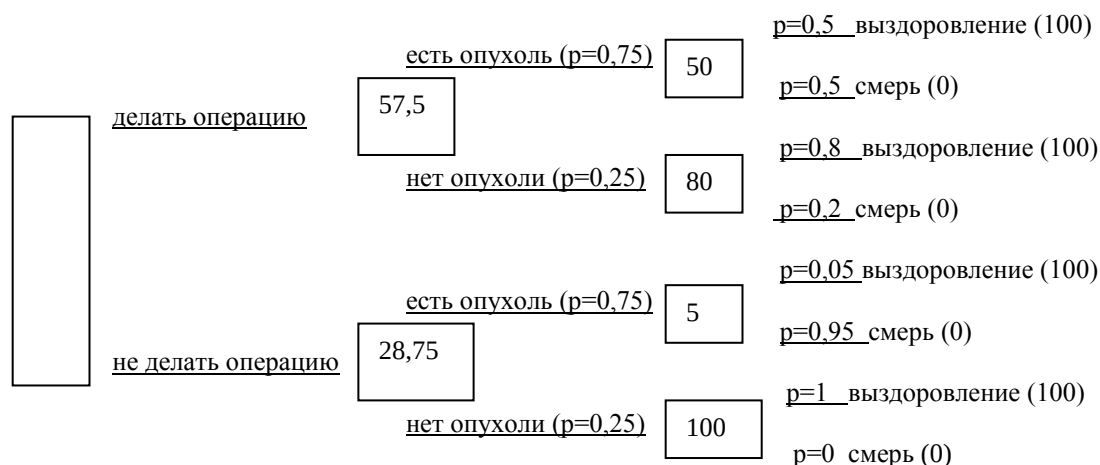


Рис. 1 Дерево решений в задаче о медицинской операции

Восприятие риска

Разные люди по-разному воспринимают и оценивают риски, в т.ч. и риски экологические. Отчего это зависит и к чему это приводит, почему простые люди и эксперты по-разному оценивают степень риска от одних и тех же явлений и попытаемся сейчас выяснить.

Всем людям присущи не только физиологические, но и психические потребности, которые для сохранения здоровья должны быть удовлетворены. В число психических потребностей входит и потребность в безопасности. Потребность в безопасности имеет собственную внутреннюю структуру, – она включает не только обеспечение физической безопасности, но также достижение чувств защищенности от физических и эмоциональных угроз. Все потребности человека имеют определенную иерархию и в случае возникновения ситуации сопряженной с риском эти потребности выстраиваются в следующей последовательности:

- преждевременная смерть;
- болезнь, инвалидность;
- уязвимость основных факторов выживания;
- истощение ресурсов (плодородной земли, энергоносителей и т.п.);
- угроза безопасности (гарантиям прав, защите собственности и т.п.);
- потеря любви и принадлежности (семьи, друзей); нарушение центрального положения собственного «я»;
- подавление самоактуализации (в развитии способности).

Как только одна из потребностей удовлетворена, доминирующим становится более низкий уровень, хотя потребности, связанные с вышележащим уровнем, могут вновь выходить на сцену. Риск представляет собой угрозу удовлетворению одной из потребностей. Вместе с этой потребностью после возникновения угрозы могут активизироваться и другие потребности, соответствующие более высоким уровням.

Восприятие риска зависит от его уровня и множества других факторов, с которыми приходится считаться. Вот некоторые из них.

Фактор катастрофичности означает, что события, в результате которых появляются человеческие жертвы, сгруппированные во времени и пространстве (взрыв на химкомбинате), вызывают усиленное восприятие риска по сравнению с событием, жертвы которого рассеяны в пространстве и времени.

Фактор знакомства приводит к тому, что риски, вызванные мало или совсем неизвестными явлениями или процессами, воспринимаются с трудом (у большинства людей слово «фреон» не вызывает никакого беспокойства).

Фактор понимания обусловлен тем, насколько данные явления или процессы понятны простым людям. Чем меньше понимание, тем больше внутренняя обеспокоенность и недоверие и, как следствие, склонность к преувеличению риска.

Фактор неопределенности в последствиях событий или процессов вызывает обострение воспринимаемого риска (хранилища отработанного ядерного топлива).

Фактор контролируемости. Если человек находится в ситуации, развитие которой происходит независимо от его личного контроля, он склонен к большему беспокойству за последствия этого развития, его восприятие риска интенсифицировано. (Человек за рулем меньше боится попасть в аварию, чем его пассажир).

Фактор добровольности. Люди меньше задумываются о риске, если идут на него добровольно (альпинизм и ЭР, обусловленный загрязнением воды).

Фактор воздействия на детей. Люди склонны драматизировать риски, последствия которых сказываются в первую очередь на детях.

Фактор воздействий на будущие поколения. Люди склонны беспокоиться не только о детях, но и о будущих поколениях (боязнь генетических дефектов от ионизирующих излучений).

Фактор идентифицируемости жертв. Риск гибели шахтеров на конкретной шахте воспринимается значительно острее, чем восприятие статистических данных о гибели шахтеров в течение года.

Фактор утраченного означает, что риск воспринимается особым образом, если вместе с его восприятием появляется чувство сильной тревоги, страха, ужаса (последствия Чернобыля).

Фактор обратимости опасных явлений или процессов. Необратимые события (например, кислотный дождь) характеризуются усиленным восприятием риска, обратимые (перелом ноги) – ослабленным.

Фактор доверия. Восприятие риска ослабевает при достаточно высоком уровне доверия к лицу или организации о нем сообщаемом и наоборот.

Фактор внимания средств массовой информации. Если СМИ молчат, то риск воспринимается заторможено, в противоположном случае – преувеличено.

Фактор справедливости. Если риск распределен более или менее равномерно, то влияние этого фактора невелико, однако оно резко увеличивается при явно неравномерном распределении риска.

Фактор происхождения отражает различие в восприятии риска, обусловленного антропогенными и природными опасностями (последнее меньше первых).

Знание факторов риска и реакции на них людей объясняет, почему люди склонны мириться с источниками опасности, характеризующимися относительно большим риском (курение, алкоголь, автотранспорт), и в то же время часто переоценивают опасности, сопряженные со значительно меньшим риском (атомная энергетика).

Кроме только, что описанных факторов на восприятие опасности влияет механизм этого восприятия. Так, человеческой психике присущ особый механизм, который значительно повышает чувствительность восприятия негативной информации по сравнению с позитивной. Кроме того, люди более склонны полагать, что источники «плохих» новостей более надежны и в большей степени заслуживают доверие, нежели источники положительной информации.

Большую часть информации об опасностях человек получает из СМИ, составной частью которых являются те же люди, которые тоже склонны искажать степень опасности события преимущественно в негативную сторону. Журналистов обычно не интересует количественные оценки вероятности и последствий опасностей, они скорее склонны искать связанные с ними политические причины. В результате неадекватно освещаются предположения и догадки о вине конкретного лица или организации, и чем больше престиж вовлеченных участников, тем значительнее может быть мера искажений. Поскольку сигналы о количественных характеристиках риска оказываются ослабленными, то даже крупные экологические катастрофы получают в СМИ внимание, никак не связанное с их масштабом. Так, подсчитано, американская телевизионная компания CBS потратила в 1986 г. 129 минут эфирного времени на сообщения об аварии в Чернобыле, где погиб 31 человек, а на информацию о землетрясении в Китае, жертвами которого стали 800 тыс. человек, отпустила всего 9 минут.

Это, несомненно, является одной из числа многих причин преувеличения людьми опасности ядерной энергетике.

Еще одной причиной этого может быть неадекватное восприятие человеком вероятностей, которое, в частности, проявляется в недооценке относительно высоких уровней риска событий, часто происходящих, и, напротив, переоценке низких уровней риска у редких событий. Яркий пример тому, преувеличение риска полета на самолете и занижение риска езды на автомобиле.

Оценка риска

Само по себе знание воздействия загрязняющих веществ на здоровье человека и окружающую среду, а также восприятия риска людьми не делает наш мир безопаснее, необходимо выяснение причин возникновения риска, его масштабов и последствий. То есть нужна оценка риска.

***Оценка риска** - это научный анализ его генезиса, включая его выявление, определение степени опасности в конкретной ситуации.*

Оценка риска, таким образом, должна характеризовать как вероятность наступления самого неблагоприятного события, так и вероятность негативных последствий этого события, например, гибели людей.

Существенный прогресс в разработке методики оценки риска достигнут главным образом в определении опасности для здоровья человека. В этой области сейчас наиболее разработана процедура оценки риска онкологических заболеваний.

В 80-х гг. прошлого столетия американский исследователь А.Баумер предложил три варианта оценки риска:

- **чрезвычайный**, который определяет потенциальную причину проблемной ситуации (в частности, выбросов) и намечает меры по их предотвращению;
- **специальный**, который заключается в экспресс-анализе текущей обстановки и с целью предотвращения возможного возникновения чрезвычайной ситуации;
- **общий**, который включает полное или частичное обследование предприятия, выявление основных проблем его развития, подсчет объемов реальных вредных выбросов/сбросов и определение практических мер по их минимизации или устранению.

Согласно сложившимся представлениям, основные элементы оценки риска включают следующие процедуры:

1. *Выявление опасности* – установление источников и факторов риска, а также зон и объектов их потенциального воздействия, основные формы такого воздействия. Вначале определяют перечень предприятий или технологий, использующих энергонасыщенное оборудование, высокие давления, агрессивные и токсичные компоненты или производящих потенциально опасную продукцию. Затем определяют факторы риска, воздействующие на здоровье человека и окружающую среду при регламентной эксплуатации инженерных объектов, а также высвобождаемые при залповых выбросах авариях.
2. *Выявление объектов и зон потенциального негативного воздействия*, в первую очередь населения, а внутри него – наиболее уязвимых социальных групп (групп риска).
3. *Определение вида воздействия факторов риска на объекты и степень его опасности*, например степень токсичности химического вещества. На этом этапе делают вывод о том, может или нет временное или постоянное присутствие определенного вещества вызвать заболевания.
4. *Анализ воздействия факторов риска на население и окружающую среду*, в частности установление стандарта (норматива). Это подразумевает определение безопасного для человека и экосистемы уровня воздействия, определенных дестабилизирующих факторов или их комбинации. Именно на этом этапе выясняют, существует ли порог воздействия. Отметим, что, хотя концепция порогового воздействия спорна, она принята во многих странах.
5. *Оценка подверженности*, т.е. реального воздействия фактора риска на человека и окружающую среду. На этом этапе проводят определение масштабов (уровня) воздействия, его частоты и продолжительности.
6. *Полная (совокупная) характеристика риска* с использованием качественных и количественных параметров, установленных на предыдущих этапах, применительно к каждому фактору риска. Понятно, что далеко не все можно выразить не только количественно, но и качественно, именно поэтому анализ риска является непростым делом.

Количественное оценивание ЭР

До недавнего времени основой, на которой строились нормативы безопасности во всем мире, была концепция абсолютной безопасности. Для предотвращения аварий внедрялись дополнительные технические устройства – инженерные системы безопасности, принимались организационные меры, обеспечивающие высокий уровень дисциплины, строгий регламент

работы. Считалось, что такой инженерный подход позволяет исключить любую опасность для населения и ОС и обеспечит *абсолютную безопасность, т.е. нулевой риск*.

До некоторых пор такой подход был оправдан. Однако усложнение производств и появление принципиально новых технологий привело к тому, что концепция абсолютной безопасности стала противоречить законам техносферы, в которой обеспечить нулевой риск становится практически невозможно. В стремлении к нулевому риску общество вынужденно было бы вкладывать гигантские финансовые вложения в инженерное обеспечение процессов и технологий, урезая при этом финансирование социальных программ. Последнее в свою очередь сократило бы среднюю продолжительность жизни человека и снизило бы ее качество, т.е. повысило бы риск.

Именно поэтому сообщество пришло к пониманию невозможности создания «абсолютной безопасности» (нулевого риска) реальной действительности, и к необходимости стремления к достижению такого уровня риска от опасных факторов, который может рассматриваться как «приемлемый» (допустимый). Его приемлемость должна быть обоснована, исходя из технических, экономических, социальных и политических соображений. Это означает, что уровень риска от факторов опасности, обусловленных хозяйственной деятельностью, является «приемлемым», если его величина настолько незначительна, что ради получаемой при этом выгоды в виде материальных и социальных благ человек или общество в целом готово пойти на риск. Другими словами, приемлемый риск представляет некий компромисс между уровнем безопасности и возможностями её достижения.

Таким образом, главное внимание при определении ЭР должно быть направлено на анализ соотношения вредных экологических последствий, заканчивающихся смертельными исходами, и количественной оценки как суммарного экологического воздействия, так и его компонентов.

О важности такого подхода свидетельствует тот факт, что в некоторых странах (например, США) стандарты и нормативы стали основываться не только на ПДК, но и на связанных с ЗВ рисках.

При оценивании риска различают две его разновидности – социальный и индивидуальный. Социальный риск характеризует возможные аварии на промышленных, энергетических, военных и иных объектах, которые вызывают тяжелые последствия и, прежде всего, гибель людей. Этот риск (R_s) принято выражать следующим образом:

$$R_s = \sum_i^l w_i N_i ,$$

где w_i - частота, i -й аварии, N_i - количество смертельных случаев, обусловленных ею, l - возможное число всех аварий на данном объекте.

Законодательство ряда стран использует определенные значения частоты аварии и количество вызванных ею смертельных случаев для оценки допустимого социального риска эксплуатации того или иного объекта. Так, в Нидерландах, риск от потенциально опасной установки, авария на которой может вызвать гибель 10 человек, может считаться допустимым, если частота этой аварии не превышает 10^{-4} в год (иначе говоря, рассматриваемая авария может произойти не чаще, чем один раз в 10 тыс. лет).

Социальный риск, обусловленный действием на людей вредных веществ, находящихся в воздухе, воде, пище, определяют несколько иным способом.

Для оценки влияния токсиканта, присутствующего в среде, вводится понятие «риска от дозы i токсиканта j », обозначаемого через $[P_e(D)]_{ij}$. Фактическая величина $[P_e(D)]_{ij}$ является вероятностью, она зависит от фактора риска данного токсиканта F_r и его дозы D . Доза измеряется в мг, а фактор риска имеет размерность (мг^{-1}) и представляет собой риск, приходящийся на единицу дозы. Величина фактора риска должна быть установлена в результате специальных исследований. Если связь между дозой и риском линейна, а воздействие токсиканта не имеет порога, то величина $[P_e(D)]_{ij}$ определяется простой формулой

$$[P_e(D)]_{ij} = (F_r D)_{ij} = (F_r c v t)_{ij} , \quad (4)$$

где c - концентрация токсиканта, v - его ежедневное поступление в организм, t - время воздействие токсиканта.

Число тяжелых последствий действия токсикантов на людей определяется выражением

$$q_e = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k P_e \Phi_{ij} N_{ij} \quad (5)$$

где N_{ij} - количество людей, подвергшихся действию токсикантов; k - количество токсикантов; n - количество уровней доз каждого токсиканта. Символ « e » показывает, что речь идет о дополнительных (*excess*) случаях заболевания, вызванных рассматриваемыми токсикантами.

Последнюю формулу можно применять для экспрессных количественных оценок социального риска. Пусть, например, после ввода в строй некоторого промышленного предприятия проживающее поблизости население в количестве 10 тыс. человек в течение 3 лет постоянно (24 часа в сутки) подвергается действию находящегося в воздухе канцерогена, концентрация которого равна $0,01 \text{ мг/м}^3$. Сколько дополнительных случаев рака можно ожидать от этого вещества за время эксплуатации объекта, если фактор риска этого канцерогена составляет 10^{-6} мг^{-1} ? В данном случае двойное суммирование не требуется, так как $i=1$ и $j=1$. Если считать, что средний объем воздуха, вдыхаемый ежеминутно, равен 7,5 л, то объем загрязненного воздуха, проходящий через легкие человека за сутки составит:

$$V = 7,5 * 60 * 24 = 10800 \text{ л} = 10,8 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

С помощью формул (4) и (5), получим $q_e = F_r * v * c * t * N = 10^{-6} * 10,8 * 0,01 * 365 * 3 * 10^4 = 1,3$. Таким образом, для приведенных условий рассматриваемое предприятие может вызвать приблизительно один случай заболевания раком.

Индивидуальный риск определяется вероятностью экстремального вреда (смерти индивидуума) от некоторой причины, рассчитываемой для всей его жизни или для одного года.

В большинстве стран устанавливаются стандарты ЭР, исходя из такого нижнего теоретического предела индивидуального риска, который можно считать пренебрежимо малым. Этот предел соответствует увеличению вероятности смерти на один шанс на миллион (10^{-6}) за год.

Для оценки допустимых индивидуальных рисков, связанных с опасными видами деятельности в Великобритании используется так называемый критерий Эшби. Он представляет собой вероятности одного фатального случая (смерти) в год. В качестве критерия для неограниченно приемлемого риска принят такой же порядок вероятности, какой характерен для природных катастроф (10^{-6}).

Ранг риска	Вероятность одной смерти в год	Степень приемлемости
1	Не менее 10^{-3}	Риск неприемлем
2	10^{-4}	Риск приемлем лишь в особых обстоятельствах
3	10^{-5}	Требуется детальное обоснование приемлемости
4	10^{-6}	Риск приемлем без ограничений

Для сравнения приведем порядки вероятностей индивидуального риска смерти в год, усредненные по статистическим данным Великобритании.

Причина смерти	Вероятность одной смерти в год
Все причины	10^{-2}
Все «внутренние» причины (болезни)	10^{-2}
Все «внешние» причины (аварии, отравления, насилие и т.п.)	10^{-4}
Все аварии на транспорте	10^{-4}
Случайные отравления	10^{-5}
Травматизм на производстве	10^{-5}
Аварии на воздушном транспорте	10^{-6}

Эти вероятности подсчитаны путем деления количества наблюдавшихся ежегодно смертей на число жителей страны.

Ричард Вильсон рассчитал увеличение индивидуального риска смерти на 10^{-6} в год, вызванное различными причинами.

Вид деятельности	Причина смерти
Выкурить 1,4 сигареты	Рак, болезнь сердца
Пробыть 1 час в угольной шахте	Болезнь легких
Провести 2 дня в Нью-Йорке	Болезнь легких
Проехать 300 миль на автомобиле	Авария
Проехать 10 миль на велосипеде	Авария
Пролететь 1000 миль на самолете	Авария
Прожить 2 месяца в горах	Рак (космические лучи)
Прожить 2 месяца рядом с курильщиком	Рак, болезнь сердца
Сделать рентгеновское исследование грудной клетки	Рак (облучение)
Прожить 150 лет на расстоянии 20 миль от ядерного реактора	Рак (облучение)

Выражение последствий риска количеством смертей в единицу времени получило широкое распространение во всем мире, хотя оно не является единственно возможным.

Оценка риска по сокращению ожидаемой продолжительности жизни. Бернард Коэн предложил оценивать и сравнивать риски по величине, называемой сокращением ожидаемой продолжительности жизни (*LLE*, loss of life expectancy). *LLE* показывает, на какой срок укорачивается, в среднем жизнь индивидуума, подвергающегося данному риску. Преимущество ее использования состоит в наглядности – так, к примеру, показатель смертности, выраженный величиной 10^{-4} , труднее для восприятия, нежели характеризующее тот же риск значение *LLE*, равное 20 дням.

Оценивание риска с использованием величины сокращения ожидаемой продолжительности жизни есть частный случай использования формулы 4.4. Действительно, значение *LLE* зависит от вероятности осуществления рассматриваемого опасного события (или состояния, или действия) *P* и средней величины оставшейся жизни человека *L*, подвергающегося при этом риску:

$$LLE = H * L.$$

Величина *L* играет, таким образом, роль последствий опасного события, действия или процесса. Угроза со стороны опасного события действует на ожидаемый остаток жизни в виде соответствующей вероятности.

Б.Коэн рассчитал сокращение ожидаемой продолжительности жизни (*LLE*), вызываемое повседневной деятельностью, болезнями, стихийными бедствиями и различными экологическими причинами, результаты расчётов приведены ниже:

№ п/п	Причины риска	<i>LLE</i> , дни
1	Курение (мужчины, 1 пачка сигарет в день)	2300
2	Сердечно-сосудистые заболевания	2100
3	Работа в шахте	1100
4	Рак	980
5	Избыточный вес	900
6	Инсульт	520
7	Алкоголь	230
8	Автомобильные аварии	180
9	Грипп и воспаление легких	130
10	Наркотики	100
11	Убийство	90
12	Несчастные случаи на работе	74
13	СПИД	70
14	Радон в помещениях	35
15	Работа с химикалиями	30
16	Пожары и смертельные ожоги	27
17	Кофе (3 чашки в день)	26
18	Постоянная работа с облучением	25
19	Обеднение озонового слоя	22
20	Пестициды в пищевых продуктах	12
21	Загрязнение атмосферного воздуха	10
22	Загрязнение питьевой воды	1,3
23	Проживание вблизи АЭС	0,4
24	Наводнения	0,4

25	землетрясения	0,2
----	---------------	-----

Количественные оценки рисков, в т.ч. и экологических, необходимы для ранжирования проблем, связанных со здоровьем людей и состоянием среды обитания, и принятия соответствующих мер. Такое ранжирование способствует выделению приоритетов при распределении средств, предназначенных для выделения на цели, определяющие здоровье людей.

Кстати, приведенные данные свидетельствуют о том, что по значимости для благополучия людей экологические проблемы являются далеко не первоочередными.

Управление риском

Люди управляют риском уже около четырех тысячелетий. Известно, что примерно 3900 лет назад в древней Месопотамии уже проводилось страхование имущества. Первый страховой полис, страховавший человеческую жизнь, появился много позже – в 1583 г. в Англии.

Первым законодательным актом, нацеленным на снижение экологического риска, можно считать указ английского короля Эдуарда 1, подписанный им в 1285 г. Этот указ запрещал сжигать в печах, служащих для обжига и сушки кирпича, так называемый «мягкий» уголь, в котором много загрязняющих воздух примесей.

Для процессов управления ЭР важное значение имеют результаты исследования его восприятия. Выявленные приоритеты в обеспокоенности общества состоянием ОС обычно принимаются во внимание при подготовке необходимых экологических мероприятий, хотя, в большинстве случаев, это означает идти на поводу у населения.

С целью предотвращения или уменьшения риска разрабатываются многочисленные и разнообразные документы, сферы действия которых могут ограничиваться каким-либо одним предприятием, а могут распространяться и на всю страну. К таким документам относятся законодательные акты и нормативы, направленные на охрану здоровья, улучшение условий труда, снижение загрязнения среды обитания, обеспечение безопасности на дорогах, стандартизацию качества продаваемых товаров и т.п. Всем известная надпись на сигаретных пачках «Минздрав предупреждает: курение опасно для вашего здоровья» представляет собой пример простейшей меры по снижению риска.

В последние годы определилась тенденция регулировать ЭР законодательным путем на самых высоких уровнях. Так, в 1995 г. Конгресс США постановил, чтобы все будущие законодательные акты в области здравоохранения и ЭБ основывались на таких научных данных, которые, во-первых, содержат оценки соответствующих рисков, и в которых, во-вторых, сочетаются эффективные меры снижения рисков с лежащими в разумных пределах затратами.

В настоящее время принято считать, что любой вид сопряженной с риском деятельности приемлем лишь в том случае, если польза, которая будет получена при достижении определенных целей, будет явно превышать сумму всех отрицательных последствий. Иначе говоря, та или иная человеческая деятельность должна, несмотря на определенный риск, давать суммарную прибыль, которая будет больше суммарных затрат. ЭР (R) можно считать оправданным, если выполняется следующее условие:

$$R < (V - W - Y)/a,$$

где V – полный доход; W – затраты на основное производство; Y – затраты на снижение риска до допустимого уровня; a – цена риска, представляющая собой денежный эквивалент единицы риска, рассчитываемый для каждого конкретного случая.

Концепция о преобладании пользы над издержками выступает первым принципом обоснованности, он требует проведения расчётов затрат и ожидаемой прибыли в каждом конкретном случае. Применение принципа обоснованности призвано оценивать предварительные условия, необходимые для внедрения в практику рассматриваемого вида деятельности.

То способ, которым будет реализован получивший свое обоснование и спланированный вид деятельности, составляет предмет второго общего принципа определения критериев приемлемого риска. Он называется принципом оптимизации и заключается в нахождении минимума затрат, на которые может пойти общество с целью реализации данного вида деятельности.

Рассмотрим это на примере защиты людей от ионизирующего излучения. В случае радиационного риска минимальные расходы получают путем суммирования двух слагаемых: стоимости вреда для здоровья человека, который может быть причинен облучением при данном уровне радиационной защиты, и расходов на эту защиту. Очевидно, что таким вредом являются злокачественные новообразования и генетические заболевания. Как считает Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ), между полученной дозой и вероятностью возникновения злокачественных опухолей и наследственных нарушений существует прямая зависимость

(линейная связь). Тогда стоимость компенсации ожидаемого вреда для здоровья выразится в виде некоторой функции коллективной дозы, складывающейся из тех индивидуальных доз, которые будут получать отдельные лица в результате, например, работы АЭС.

Принцип оптимизации позволяет утверждать, что работа АЭС будет осуществляться при достаточно низком и оптимальном уровне облучения. При этом уровне любое дополнительное снижение дозы (выраженное в виде коллективной дозы) не будет оправдано с точки зрения новых затрат, нужных для такого снижения. Применительно к радиационной защите принцип оптимизации гласит: *при любой ситуации дозы облучения должны поддерживаться на таких низких уровнях, каких только можно разумно достичь с учетом экономических и социальных факторов.*

На рисунке представлены три зависимости от коллективной дозы. Прямая *A* показывает зависимость от коллективной дозы цены здоровья. Кривая *B* характеризует зависимость затрат на радиационную защиту (т.е. на снижение риска) от величины коллективной дозы. Затраты на эту защиту весьма велики при обеспечении малых коллективных доз и становятся меньше, если допускаются большие приемлемые дозы. Кривая *C* – это суммарная кривая, имеющая единственный минимум, который и соответствует оптимальным величинам цены здоровья и затрат на снижение риска.

Конечно, расчёты по оптимизации не могут считаться универсальными. Они должны быть проведены для каждого конкретного случая и для определенных условий. Самым трудным этапом расчётов по оптимизации является определение наклона прямой *A*. Трудности здесь вызваны необходимостью установления денежного эквивалента единицы коллективной дозы облучения, которой соответствует определенная вероятность возникновения злокачественных образований.

При таком подходе к процедуре оптимизации принимается во внимание состояние здоровья всего общества в целом, но не отдельных индивидуумов. Могут сложиться условия, в которых оптимальная коллективная доза включает в себя в качестве отдельных слагаемых достаточно большие индивидуальные дозы. В подобных случаях требуется обеспечить защиту отдельных лиц, подвергаемых риску наибольшего облучения. Предотвращение облучения индивидуумов чрезмерно высокими дозами является содержанием третьего принципа критериев приемлемого риска, его называют принципом ограничения индивидуальных доз.

На практике принцип ограничения индивидуальных доз в разных странах осуществляется по-разному. Так, в России индивидуальная предельная доза облучения для населения установлена в размере 1 мЗв/год с учетом всех источников облучения. В США эта доза за счет работы АЭС не должна превышать 0,05 мЗв/год.

Рассмотренные три принципа имеют общее значение и пригодны для оценки защитных мер в любых опасных ситуациях.

Допустимый и пренебрежимый экологический риск

Использование в законодательстве параметров риска требует точного количественного определения двух важнейших понятий – максимально допустимого риска и пренебрежимо малого (безусловно приемлемого) риска. ***Риск признается пренебрежимым, если его уровень в силу своей малости не может быть надежно выявлен на фоне уже имеющихся рисков.*** В большинстве стран Европы, в т.ч. и в России, индивидуальный риск, которому подвергается население (а не работающий на производстве персонал), считается пренебрежимым, если его уровень не превышает величину 10^{-6} за год. Исключение составляют Нидерланды, где значение 10^{-6} в год считается максимально допустимым, а пренебрежимый риск зафиксирован на уровне 10^{-8} в год.

Верхняя граница допустимого риска (максимально допустимый риск) различна у населения и персонала, работающего во вредных условиях. В России максимально допустимый индивидуальный риск для техногенного облучения лиц из персонала принят равным 10^{-3} за год, а для населения – $5,0 \cdot 10^{-5}$ за год (последняя величина в 50 раз превышает уровень пренебрежимо-го риска).

Значение допустимого риска используется в качестве критериев в процессе управления экологическим риском. Цель этого процесса – снизить уровень риска до приемлемого.

По современным требованиям, разрабатываемые программы по снижению экологического риска должны предусматривать тщательно выверенные оценки необходимых затрат. При этом необходимо определить приоритетные направления расходования средств. Критерии для выбора приоритетов могут разными. Так, Закон США о бюджете на 1996 г. отводил Департаменту энергетики 6,5 млрд. долларов на расходы по улучшению состояния ОС, причем большая

их часть (5,1 млрд.) предназначалась на мероприятия по уменьшению ЭР. При обосновании своих финансовых нужд Департамент энергетики представил качественные критерии оценки ЭР, распределив их на высокие, средние и низкие. К высоким были отнесены весьма серьезные и не терпящие отлагательства риски, на 272 мероприятия по их снижению было ассигновано 2,5 млрд. долларов. На 613 мероприятий, связанных с уменьшением среднего риска, пошли 2 млрд. долларов; оставшиеся 0,6 млрд. были направлены на финансирование 314 мероприятий с целью уменьшения низкого риска. Эти цифры показывают, что чем выше ЭР, тем большие суммы необходимо направлять на их снижение.

Особое значение имеют оценки затрат на мероприятия по снижению ЭР, результатом которого является сохранение определенного количества человеческой жизни. Такого рода оценки выполнены в США на основе анализа достаточно большого объема исходных данных. В частности, были сделаны оценки ежегодных затрат на сохранение одной среднестатистической жизни при проведении экологических мероприятий, ориентированных на улучшение качества среды обитания (рассматривались меры по снижению содержания в биосфере токсикантов и источников излучения). Показано наличие четко выраженной обратной корреляции между величиной ЭР и затратами на его снижение. Так, расходы на снижение выбросов мышьяка при выплавке меди малы на предприятиях с относительно высоким уровнем загрязнения ОС этим элементом и напротив, возрастают более чем в десять тысяч раз, если этот уровень сравнительно низок. Эти же оценки свидетельствуют, что средняя стоимость сохранения одной жизни в США в результате осуществления различных экологических мероприятий составляет 4,2 млн. долларов. Это примерно в 200 раз больше, чем усредненные затраты, связанные с реализацией медицинских мер по спасению одной жизни в США. На сохранение одной жизни требуется затратить 36 тыс. долларов на мероприятия, направленные на снижение бытового травматизма, 56 тыс. – на повышение безопасности использования транспортных средств и 350 тыс. – на снижение уровня профзаболеваний.

Рассмотренные данные свидетельствуют о том, что снижение ЭР обходится дорого. Это подчеркивает необходимость принятия заблаговременных мер по сохранению состояния среды обитания и предотвращению ЭР, связанного с планируемым вводом в эксплуатацию потенциально опасных объектов.

Техногенные катастрофы и управление в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это состояние, при котором в результате возникновения источника опасности на объекте, на определённой территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и ОПС.

Причины и стадии развития техногенных катастроф

Использование экологической экспертизы проектов, анализа риска является важной предпосылкой и, вместе с тем, средством предотвращения или сведения к минимуму вероятности аварии, катастрофы, опасного загрязнения ОС. Однако вероятность этих событий никогда не равна нулю. Следовательно, необходима разработка таких стратегий управления, которые учитывали бы это обстоятельство и предусматривали бы меры, ориентированные не только на предотвращение техногенных катастроф (ТК), но и на подготовку, противодействие и ликвидацию последствий уже возникшей ЧС.

Очевидно, что разработка и использование стратегии должно базироваться на анализе закономерностей возникновения ТК.

Обязательными предпосылками возникновения ТК являются существование источников и действие факторов риска, а также размещение населения относительно техногенного объекта. Формирование этих предпосылок и их «трансформация» в реальную ТК представляет собой причинно-следственную цепь, которая берёт своё начало от потребностей общества.

Научно-технический прогресс, ускоренная урбанизация, обуславливающая концентрацию населения в относительно компактных поселениях, где сосредоточены и опасные производства, объективно способствуют росту факторов риска.

Потребности общества можно представить в виде потребности отдельных групп населения, интересы которых различны. Превышение интересов одной или нескольких групп над интересами остальных может существенным образом сказаться в технологической сфере, включая и степень риска. Это часто выражается в выборе технологии (включая собственно технологические процессы и соответствующую строительную площадку).

Прежде всего, это *сооружение выгодных заказчику, но не нужных по большому счёту обществу объектов*, в том числе наносящих серьёзный ущерб ОС и таящих в себе угрозу возникновения экстремальной ситуации. Примерами таких сооружений является Байкальский ЦБК, плотина в заливе Кара-Богаз-Гол.

Другой формой технократического решения является *сооружение нужных обществу объектов, эксплуатация которых связана со значительным риском для здоровья людей*. Последнее происходит из-за использования устаревших технологий строительства и оборудования, при одновременном стремлении сэкономить на издержках на безопасность. Железная дорога с её устаревшей технологией.

Наконец, возможен вариант, когда *нужный народному хозяйству объект возводится в местах, уязвимых в социально-экологическом отношении* (близость населенных пунктов, особая хрупкость экологических систем и т.д.). Пример, Оренбургский ГКЗ.

Перечисленные формы деформации общественных интересов являются закономерным следствием ведомственного диктата независимо от формы собственности. Во всех перечисленных случаях утрачен реальный контроль над хозяйственной деятельностью, что и ведёт к серьёзным просчётам в принятии решения, включая выбор технологии. Причём это не результат некомпетентности отдельных лиц, хотя и высокопоставленных, - это порок, органически присущий большому организационным системам закрытого типа, т.е. работающих на собственный интерес. В таких системах для принятия выгодного системе решения происходит искажение входящей информации, отсеивание «неблагоприятных» данных и акцентирование благоприятных., причём всё это делается не по чьему-либо распоряжению, а изначально «заложено» в неё ведомственным интересом.

Другим важным звеном в причинно-следственной цепи формирования ЧС, помимо интересов и выбора технологии, является их *непосредственная причина*. Непосредственными причинами ТК могут быть внешние по отношению к инженерной системе воздействия (стихийные бедствия, диверсия и др.) и «внутренние», связанные непосредственно с данной системой: технические, в том числе, конструкторские недоработки, а также человеческие ошибки. Последним принадлежит главная роль в возникновении аварий инженерных систем.

Анализ причин и хода развития ЧС позволяет установить ещё одну важную черту, общую для всех типов ситуаций, независимо от происхождения – их *стадийность*. В ходе развития ЧС можно выделить три стадии: зарождения, кульминационную (собственно ЧС) и затухания.

На стадии зарождения складываются условия, предпосылки будущей ТК: накапливаются многочисленные технические неисправности, происходят сбои в работе оборудования, персонала, «локальные» аварии и т.д. Иными словами, нарастает технологический риск.

Процесс накопления неисправностей, «локальных» аварий присущ не только любым сложным техническим системам, представляющим опасность для здоровья и жизни людей. Так, на продуктопроводе Западная Сибирь – Урал – Поволжье, где в 1989 г. произошла крупнейшая в СССР ТС, с 1985 по 1989 г. было зафиксировано 30 отказов и сбоев, в том числе 17 крупных.

Продолжительность стадии зарождения может быть самой разной: от суток (нефтяная платформа «Poreg Alpha») до месяцев (Бхопал, «Челленджер», Чернобыльская АЭС), а иногда годами и десятилетиями (Арал). Установить продолжительность стадии зарождения, причём весьма приблизительно, можно только с помощью регулярной статистики отказов.

На кульминационной стадии под воздействием тех или иных причин происходит высвобождение факторов риска – вещества или энергии, действию которых подвергается прежде всего местная природа и население. Продолжительность этой стадии – от нескольких дней до нескольких недель.

Стадия затухания ТС хронологически охватывает период от перекрытия (ограничения) источника опасности – локализации ЧС до полной ликвидации её прямых и косвенных последствий. Продолжительность этой стадии может составлять годы, а то и десятилетия.

Стратегии управления в чрезвычайных ситуациях

Организация управления любым объектом, в том числе и чрезвычайной ситуацией, всегда начинается с постановки целей. В принципе возможны три типа целей и, следовательно, три типа стратегий управления в ЧС: предотвращение причин их возникновения, предотвращение самих экстремальных ситуаций и смягчение, максимальное ослабление их последствий.

Перечисленные три типа целей управления в ЧС и соответствующие им стратегии можно рассматривать и как средства решения задач более высокого ранга. Так, предотвращение

причин возникновения экстремальной ситуации представляет собой средство недопущения самой этой ситуации.

Стратегия предотвращения причин возникновения ЧС подразумевает недопущение таких действий или процессов, которые представляют прямую угрозу жизни и здоровья населения. Возможны два варианта осуществления данной стратегии.

1. Отказ от конкретных мер хозяйственного, политического и иного характера, которые создают источник потенциальной чрезвычайно опасной ситуации. Например, отказ от переброски речного стока. Это возможно на проектной стадии соответствующих разработок в ходе детальной экологической экспертизы проекта и оценки технологического риска.
2. Уничтожение или полное перепрофилирование объектов – источников повышенной опасности для здоровья и жизни людей в тех случаях, когда объекты уже сооружены или эксплуатируются. Такие шаги предпринимаются на основе послепроектной экологической экспертизы и данных мониторинга.

Стратегия предотвращения самой ЧС – предполагает, что причины, порождающие данную ситуацию, устранить невозможно или не удалось, вследствие чего начинается «цепная реакция» событий, ведущих к катастрофе. Поэтому необходимо, с одной стороны, прервать эту реакцию, не допустив окончательного выхода опасного процесса из-под контроля. Так, с помощью встроенных аварийных систем обеспечивается автоматическое отключение управления ядерным реактором, подавление источника возгорания при пожарах и т.д. С другой стороны, необходимо гарантировать безопасность населения, например, путём превентивной эвакуации, срочного укрытия и т.п.

Стратегия смягчения последствий подразумевает ориентацию на максимальное ослабление, локализацию всех последствий ЧС, которую допустить нельзя или не удалось.

Каждая из перечисленных стратегий не только не исключает другие стратегии, но, напротив, предполагает их совместное существование, обеспечивающее при необходимости возможность перехода от одной стратегии к другой.

В принципе предотвращение причин возникновения ЧС является наиболее эффективной стратегией управления, но в реальных условиях эта стратегия сдерживается рядом причин. Прежде всего тем, что риск возникновения ЧС никогда не равен нулю, о чём мы уже неоднократно говорили. Однако сведение к нулю риска возникновения ТК в отношении отдельно взятой инженерной системы – вещь возможная и оправданная. Отказ от сооружения ненужного обществу, но выгодного отдельным группам лиц объекта или от строительства опасного с медико-экологической точки зрения предприятия в уязвимом месте (вблизи от населённого пункта, в районе с неблагоприятной розой ветров и т.п.) может быть совершен лицом, принимающим решение на основе экологической экспертизы такого объекта и анализа риска, который он (объект) представляет.

Помимо «ненулевого риска» эффективное использование стратегии предотвращения ЧС сдерживается некоторыми другими объективными (прежде всего экономическими) факторами и особенно причинами субъективного характера. Поэтому велика роль других стратегий управления в ЧС – их предотвращения и смягчения их последствий.

Несмотря на то, что достижение абсолютной надёжности невозможно, необходимо всячески стремиться к её достижению, расходуя на это максимально возможные средства, всячески усиливая работу по предотвращению аварийных ситуаций, предусматривая всё возможное и невозможное, чтобы они не могли возникнуть. Одновременно необходимо быть постоянно готовыми к тому, что они всё-таки произойдут. Постоянная готовность к ЧС состоит в предварительном планировании всех мероприятий по ликвидации последствий ЧС, их финансовом и материальном обеспечении, в том числе в создании необходимого резерва материальных средств, в подборе и подготовки необходимых кадров, в обучении населения действиям в условиях ЧС и их постоянной готовности к этому.

Мероприятия по снижению загрязнения воздушной среды

При разработке мероприятий по снижению загрязнения атмосферного воздуха промышленными выбросами необходимо учитывать взаимодействие всех выбросов (технических, вентиляционных, организованных и неорганизованных и др.), фон загрязнения, природно-климатические условия, рельеф местности и условия проветривания, а также перспективу развития предприятия.

Наибольшая эффективность в защите атмосферного воздуха от промышленных выбросов достигается при одновременном сочетании технологических мероприятий, очистки воздуха перед выбросом, санитарно-технических и планировочных мероприятиях.

Технологические мероприятия должны рассматриваться как основные, т.к. они позволяют наиболее эффективно снижать и даже исключать выброс ЗВ на месте их образования. К ним относятся в первую очередь совершенствование технологического процесса и герметизация оборудования и аппаратуры.

Радикальной мерой в борьбе за чистоту атмосферы является создание замкнутых технологических процессов, при которых исключается выброс в атмосферу хвостовых газов на конечных стадиях производственных процессов и газов, образующихся на промежуточных стадиях производства (абгазов) и удаляемых через специальные линии.

К основным технологическим мероприятиям относится замена вредных веществ в производстве безвредными или менее вредными, очистка сырья от примесей (удаление серы из топлива), замена сухих способов мокрыми, замена пламенного нагрева электрическим, прерывистых процессов непрерывными, герметизация оборудования и аппаратуры, оборудование местного отсоса и последующая очистка собранного воздуха.

Доставку сырья любым видом транспорта необходимо осуществлять удобными для погрузки и выгрузки способами, исключающими загрязнение воздуха и почвы. Для транспортировки жидких и сжиженных токсичных веществ и газов в больших количествах следует использовать специальные цистерны. Перевозка в баллонах и бутылках должна быть ограничена. Воздух, вытесняемых из цистерн при сливе и переливании токсических, летучих веществ необходимо очищать от паров этих веществ и рекуперационных установках или методом химического поглощения.

Порошковые материалы следует хранить в закрытых, защищённых от ветра зданиях и специальных сооружениях (в бункерах, силосах и т.п.).

Способы очистки газопылевых выбросов

Все технологические выбросы, а также выбросы после местных отсосов, содержащие пыль, вредные газы, должны подвергаться очистке перед выходом в атмосферу – это основное требование санитарных норм СН 245-71.

Существует много методов очистки выбросов от ЗВ, вы, как будущие экологи, должны знать основные принципы работы пылегазоуловителей.

Очистка воздуха от пыли и капельных примесей. Для этих целей применяют различные пыле- и туманоулавливающие аппараты и системы, которые по принципиальным особенностям процесса очистки можно разделить на четыре группы: 1) сухие механические пылеуловители, в которых пыль и капли жидкости отделяются под действием сил тяжести, инерции или центробежной силы; 2) мокрые или гидравлические устройства, в которых взвешенные частицы улавливаются жидкостью; 3) фильтрующие устройства, в которых частицы задерживаются пористым фильтрующим материалом; 4) электрические пылеуловители, в которых взвешенные частицы заряжаются и притягиваются к электродам противоположного знака.

Для выбора пылеуловителей и расчёта всей системы очистки необходимо знать их основные характеристики, в том числе эффективность, гидравлическое сопротивление и удельную пылеемкость.

Общая эффективность очистки определяется по соотношению:

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

где $C_{\text{вх}}$, $C_{\text{вых}}$ - массовые концентрации примесей в газе до и после пылеуловителя (фильтра).

Если последовательно соединено несколько пылеуловителей, то общая эффективность очистки будет:

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

где η_1 , η_2 , η_n – эффективность очистки 1-го, 2-го и n-го аппаратов.

Гидравлическое сопротивление пылеуловителей ρ определяется как разность давлений воздушного потока на входе $\rho_{\text{вх}}$ и выходе $\rho_{\text{вых}}$ из аппарата. Величина ρ находится экспериментально или рассчитывается по формуле:

$$\rho = \rho_{\text{вх}} - \rho_{\text{вых}} = \varepsilon \rho V^2 / 2,$$

где ρ и V плотность и скорость воздуха в расчётном сечении аппарата; ε - коэффициент гидравлического сопротивления.

Величина гидравлического сопротивления пылеуловителей имеет большое значение для расчёта гидравлического сопротивления всей пневмосистемы.

Удельная пылеемкость N пылеуловителей или фильтров зависит от количества пыли, которую удерживает пылеуловитель за период непрерывной работы между очередными регенерациями. Применительно к фильтрам удельная пылеемкость оценивается как масса осадка, приходящаяся на единицу площади рабочей поверхности фильтрующего элемента, и измеряется в г/м^2 . Удельная пылеемкость используется в расчётах продолжительности работы фильтров τ между регенерациями:

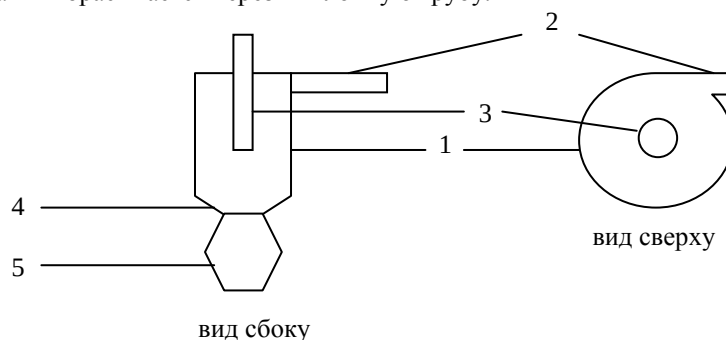
$$\tau = (N_{\text{доп}} * F_{\phi}) / (\eta Q_v C_{\text{вх}}),$$

где $N_{\text{доп}}$ - допустимая удельная пылеемкость, г/м^2 ; Q_v - объёмный расход воздуха через фильтрующий элемент, $\text{м}^3/\text{ч}$; F_{ϕ} - площадь фильтрования фильтрующего элемента, м^2 .

В сухих пылеуловителях взвешенные частицы отделяются от воздушного потока за счёт сил тяжести, инерции или центробежных сил. По конструкции это пылеосадочные камеры, циклоны, ротационные, вихревые, радиальные и жалюзийные пылеуловители.

Наиболее простыми устройствами этого типа являются пылеосадочные камеры, в которых за счёт увеличения сечения воздуховода скорость пылевого потока резко падает, вследствие чего частицы пыли выпадают под действием сил тяжести. Эти устройства используются для очистки от крупных пылей, применяются в основном для предварительной очистки воздуха.

Более эффективными сухими пылеуловителями являются различные инерционные аппараты, в которых пылевой поток резко меняет направление своего движения, что способствует выпадению частиц пыли. Наибольшее распространение среди этих аппаратов получили *циклоны* различной конструкции. Принципиальная схема одного из них, а, именно, цилиндрического циклона выглядит следующим образом (рисунок). Состоит он из двух цилиндров: наружного 1, к которому в верхней части по касательной подсоединён патрубок 2, а в нижней части – конус 4 и пылесборник (бункер) 5, и внутреннего 3, к которому в верхней части подсоединяется труба, отводящая очищенный воздух. Запылённый воздух поступает в циклон через патрубок 2 по касательной к внутренней поверхности корпуса, где совершает нисходящее спиралеобразное движение вдоль корпуса к бункеру. Под действием центробежной силы частицы пыли прижимаются к внутренним стенкам наружного цилиндра и скатываются в пылесборник. В бункере поток воздуха меняет направление на 180° , теряет скорость, вследствие чего происходит выпадение частиц пыли из потока. Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь, выходит из бункера и выбрасывается через выпускную трубу.



Циклоны предназначены для улавливания сухой пыли, золы дымовых газов котельных, работающих на твёрдом топливе, пыли из сушилок и тому подобное при начальной запылённости $0,3-4000 \text{ г/м}^3$, имеют производительность $100-68000 \text{ м}^3/\text{ч}$, обеспечивают эффективность очистки от $0,83$ до $0,975$ для пыли с размером частиц более 20 мкм .

Достоинством циклонов является их высокая эффективность, относительно малые габариты и низкая металлоёмкость. Часто из циклонов формируют группы или создают целые батареи из параллельно включённых циклончиков.

К инерционным пылеуловителям относятся также ротационные аппараты, в которых сепарация пыли происходит вследствие вращения ротора. Ротационные пылеуловители в сравнении с циклонами имеют значительно меньшие габаритные размеры и меньшую металлоём-

кость, однако они не получили широкого распространения из-за относительной сложности конструкции и процесса эксплуатации.

Мокрые пылеуловители обладают рядом преимуществ перед другими типами пылеуловителей. При мокром пылеулавливании достигается контакт запылённого потока с жидкостью в виде капель или плёнки, благодаря чему мокрые аппараты являются высокоэффективными пылеуловителями, способными улавливать частицы размером до 0,1 мкм и конкурировать с фильтрационными пылеуловителями и электрофильтрами; они успешно применяются для обеспыливания высокотемпературных газов, взрыво- и пожароопасных сред, когда использование пылеуловителей других типов невозможно или нецелесообразно. С помощью аппаратов мокрого действия можно одновременно решать задачи пылеулавливания и очистки газов от газообразных веществ, охлаждения и увлажнения газов.

Вместе с тем мокрым аппаратам присущ ряд недостатков, ограничивающих область их применения: использование их требует наличия систем шламоудаления и оборотного водоснабжения, что удорожает процесс пылеулавливания; работа этих аппаратов сопряжена с неизбежными потерями дефицитной воды; сами аппараты и отводящие газоходы в большой степени подвержены коррозии, особенно при очистке агрессивных газов, требуют дополнительных мероприятий по антикоррозийной защите.

По способу действия мокрые пылеуловители обычно подразделяются на *скрубберы Вентури, форсуночные и центробежные скрубберы, барботажно-пенные аппараты* и др.

Наибольшее распространение получили скрубберы Вентури, являющиеся самыми эффективными аппаратами мокрой очистки газов. Данный аппарат состоит из трубы-распылителя (трубы Вентури) и каплеуловителя.

Очищаемый газ проходит через завесу воды. Благодаря высокой скорости вода дробится на мелкие капли и смачивает пыль. В диффузоре скорость газа уменьшается и капли слипаются (укрупняются). Это облегчает их отделение от газа. Каплеуловитель выполняет функции циклона, в котором капли оседают на его внутренней поверхности и стекают в шламосборник.

Скоростные газопромыватели Вентури просты по устройству и в эксплуатации, компактны, обладают высокой эффективностью очистки газов (0,96-0,98) от аэрозолей со средним размером частиц 1-2 мкм при начальной концентрации примесей до 100 г/м³. Однако высокие энергозатраты на очистку, обусловленные сопротивлением аппаратов до 2 кПа, повышенные удельные расходы жидкости (0,6-0,8 л/м³), ограничивают область их применения.

Фильтры. Для эффективной очистки газа от пыли широко применяются различного типа фильтры – аппараты, действие которых основано на фильтровании запылённых газов через пористые перегородки – ткани, волокнистые материалы, насыпные зернистые слои. Осаждение частиц из газового потока в этом случае происходит под влиянием броуновской диффузии, эффекта зацепления, инерционных и электростатических сил. Уловленные в процессе фильтрации частицы по мере накопления образуют в объёме фильтрующего материала пылевой слой и становятся для вновь поступающих частиц также фильтрующей средой. С одной стороны, это повышает эффективность пылеулавливания, с другой, - приводит к постепенному снижению газопроницаемости фильтра. Последнее обстоятельство вызывает необходимость периодической регенерации фильтрующего материала, которая возможна путём замены забитого пылью фильтра или переснаряжения его новым фильтрующим материалом, а также посредством периодического механического разрушения и частичного удаления осадка с поверхности фильтрующего слоя.

Из аппаратов фильтрующего типа для очистки промышленных газов от пыли наибольшее распространение получили тканевые фильтры. Высокая степень очистки тканевых фильтров, средние капитальные и эксплуатационные затраты делают их конкурентоспособными с электрофильтрами и мокрой очистки.

В настоящее время искусственные фильтрующие материалы вытесняют материалы из хлопка и шерсти. Наиболее распространёнными синтетическими тканями и материалами являются:

- лавсановые ткани с прочностью в 3-5 раз большей, чем у шерстяных тканей, используют для очистки газов с температурой до 130-150 °С; они обладают высокой стойкостью по отношению к кислотам, растворителям, а также к истиранию;
- нитрон обладает хорошей стойкостью к указанным химическим веществам, к истиранию, термостойкостью до 130 °С.

Кроме названных тканей и материалов применяют также капроновые, полипропиленовые, а также новые материалы: оксалон, фенилон, полиоксидиазолы и др.

Общим недостатком рукавных фильтров является ограничение их применения в зависимости от температуры, влажности, химического состава газов и опасности пожара. К недос-

таткам всех видов фильтров можно отнести повышение их гидравлического сопротивления в процессе работы. Регенерация фильтрующего слоя иногда представляет большую сложность.

Электрофильтры. Наиболее совершенными и универсальными аппаратами для очистки воздуха от взвешенных частиц являются электрические фильтры. В основе их работы лежит осаждение взвешенных частиц под действием электрических сил. Электрофильтр представляет собой аппарат, в котором размещены коронирующие и осадительные электроды. Последние заземлены, а к коронирующим подводится выпрямленный ток высокого напряжения от преобразовательной подстанции.

Принципиально установки для электрической очистки газов состоят из двух частей: агрегатов питания и собственно электрофильтра. Агрегаты питания включают повышающий трансформатор 2 с регулятором напряжения 1 и высоковольтный выпрямитель 3. Собственно электрофильтр состоит из корпуса 7 с входным 13 и выходным 8 патрубками, бункером 11 для сбора уловленной пыли, пылевывпускным патрубком 12. В корпусе расположены осадительные 9 и коронирующие 10 электроды. Осадительные электроды в виде труб или пластин подключаются к заземлению и положительному полюсу выпрямителя 3. Коронирующие электроды, выполняемые чаще всего в виде проволоки, изолированы от земли с помощью изоляторов 6, и к ним подводится по кабелю 5 выпрямленный ток высокого напряжения (до 50-80 кВ) отрицательной полярности.

Процесс улавливания пыли в электрофильтре можно разбить на стадии: электрическая зарядка взвешенных в газе частиц; движение заряженных частиц к электродам; осаждение их на электродах и удаление осажённых частиц с электродов.

По способу удаления осажённой на электродах пыли электрофильтры делятся на сухие и мокрые. В сухих фильтрах пыль удаляется с электродов путём стряхивания. Нормальная работа сухих электрофильтров обеспечивается при температуре очищаемых газов выше температуры точки росы, что необходимо для предотвращения конденсации влаги и увлажнения пыли. Появление влаги в сухих аппаратах может вызвать осложнение при удалении пыли с электродов и их коррозии.

В мокрых электрофильтрах удаление пыли производится путём смыва её с поверхности электродов орошающей жидкостью. Температура очищаемого газа при этом должна быть выше или близкой к температуре точки росы. Мокрые электрофильтры могут также применяться для улавливания из газовых потоков жидких частиц в виде тумана или капель. В этом случае применяются аппараты без устройства для промывки электродов, так как осаждаемая влага самостоятельно стекает с них.

Электрофильтры широко применяются в теплоэнергетике, на горнодобывающих, перерабатывающих, металлургических и других предприятиях для очистки газов от пыли любой крупности при начальной запылённости до 50 г/м³. Кроме того, они используются для тонкой очистки газов от масляных туманов и смолы в различных отраслях промышленности.

Эффективность пылеулавливания в электрофильтрах составляет 0,96-0,99. Их работа может быть полностью автоматизирована. При работе электрофильтров эксплуатационные затраты небольшие. Однако капитальные затраты на их сооружение весьма велики, так как обычно аппараты отличаются повышенной металлоёмкостью, требуют сложных специальных агрегатов для электропитания и занимают большие площади. К другим их недостаткам относятся высокая их чувствительность к отклонениям от заданных технологических режимов и к незначительным дефектам внутреннего оборудования, невозможность применения для улавливания пылей с большим электрическим сопротивлением и в условиях образования взрывоопасных сред.

Очистка выбросов от газообразных примесей

Для очистки выбросов от газообразных примесей (оксиды серы и азота, оксид углерода, сероводород, аммиак и др.) применяют методы *абсорбции, хемосорбции, адсорбции, каталитического и термического дожигания*.

Метод абсорбции основан на поглощении одного или нескольких вредных веществ жидким поглотителем, называемым абсорбентом. При выборе абсорбента учитывается растворимость извлекаемого компонента и её зависимость от температуры и давления. В качестве растворителя применяют воду, кислые, щелочные и другие растворы. Например, для удаления из технологических выбросов аммиака, хлористого или фтористого водорода целесообразно применять воду, так как растворимость этих газов в воде составляет сотни граммов на 1 кг. Для удаления ароматических углеводородов из коксового газа применяются вязкие масла.

По конструкции абсорбционные аппараты близки к мокрым пылеуловителям.

Эффективность абсорбционного (мокрого) метода очистки газов, например, от хлористого водорода, может достигать 85-92% при использовании в качестве абсорбента 2-3% раствора едкой щёлочи, и 75% - при использовании воды.

Метод хемосорбции основан на поглощении газов и паров твёрдыми или жидкими поглотителями с образованием малолетучих или малорастворимых химических соединений.

Метод адсорбции основан на селективном поглощении вредных газов и паров твёрдыми сорбентами, имеющими развитую микропористую структуру.

В качестве адсорбента чаще всего применяют активированный уголь с помощью которого очищают газы от органических паров, летучих растворителей, дурно пахнущих веществ. Кроме того, в качестве адсорбента применяют силикагель, активированный глинозём, оксид алюминия, цеолиты. Часто адсорбенты пропитываются соответствующими реагентами, повышающими эффективность адсорбции, в этом случае происходит и хемосорбция.

Каталитический метод основан на превращении вредных компонентов промышленных выбросов в вещества менее вредные или безвредные за счёт химических реакций взаимодействия удаляемых веществ с одним из компонентов, присутствующим в очищаемом газе, или со специально добавляемым в смесь веществом на твёрдых катализаторах. В качестве катализатора обычно используются платина и металлы платинового ряда, оксиды меди и марганца, марганцевая руда и другое, выполненные в виде шариков, гранул, колец или проволоки, свитой в — спираль. В последние годы методы каталитического дожигания нашли применение и в автомобилестроении.

Термический метод основан на высокотемпературном сжигании вредных примесей, содержащихся в технологических вентиляционных и других выбросах. Для осуществления дожигания необходимо поддержание высоких температур очищаемого газа и наличие достаточного количества кислорода. Система огневого обезвреживания обеспечивает эффективность очистки, например, от оксида углерода, на 90-99%, если время пребывания газовой смеси в высокотемпературной зоне не менее 0,5 с и температура обезвреживаемых газов 600-750 °С.

Выбор очистных устройств состоит в определении способа очистки загрязнённого воздуха, количества ступеней очистки и типа пылегазоулавливающих аппаратов. Принимать к установке следует только такие устройства, которые в конкретных условиях сочетали бы в себе требующуюся эффективность очистки, надёжность и экономичность, например, возможность возврата уловленной пыли (продукта) в производство.

Принято считать, что при запылённости 5000 мг/м³ нетоксичной пылью достаточно одной ступени очистки, а при большей — нужна двух-трёхступенчатая очистка. Чем крупнее частицы пыли (золы) и больше их плотность, чем ниже температура газа, тем эффективнее при прочих равных условиях газ будет очищаться от пыли в аппаратах любого типа.

Совершенствование технологических процессов, применение высокоэффективных систем газоочистки позволяют в значительной степени уменьшить размеры промышленных выбросов в атмосферу. Однако полностью ловить пыле- и газообразные примеси в отходящих газах практически невозможно, часть вредных веществ всё равно выбрасывается в атмосферу. Для того, чтобы концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы не превышали ПДК, отходящие газы выбрасываются через высокие трубы с целью создания условий для эффективного рассеивания.

Важное место в системе мероприятий по охране атмосферного воздуха занимают планировочные мероприятия, позволяющие существенно снизить воздействие загрязнения ОС на человека. При проектировании и строительстве промышленных предприятий особое значение придаётся выбору площадки и взаимному расположению производственных и жилых массивов. Предприятие должно быть расположено на ровном возвышенном месте, хорошо продуваемом ветрами. Площадка жилой застройки не должна быть выше предприятия. Предприятия должно располагаться за чертой населённых пунктов и с подветренной стороны от жилых массивов по отношению к господствующим ветрам. Цехи, выделяющие наибольшее количество вредных веществ, следует располагать на краю производственной площадки со стороны, противоположной жилому массиву. Взаимное расположение цехов должно быть таким, чтобы при направлении ветров в сторону жилых кварталов их выбросы не объединялись.

Предприятия, являющиеся источниками выделения в ОС вредных веществ, согласно «Санитарным нормам проектирования промышленных предприятий», следует отделять от жилой застройки санитарно-защитными зонами. Размеры этих зон до границы жилой застройки устанавливаются в зависимости от мощности предприятия, характера технологического процесса, количества и вида выделяемых в ОС ЗВ. В соответствии с санитарной классификацией предприятий и производств, тепловых электрических станций, складских зданий и сооружений установлены следующие размеры санитарно-защитных зон: для предприятий 1 класса — 1000 м; 2 —

500 м; 3 – 300 м; 4 – 100 м; 5 класса – 50 м. Предприятия, не выделяющие в атмосферу вредных веществ, допускается размещать в пределах жилых районов.

Этой примерной классификацией пользуются тогда, когда вычисленные значения максимальных концентраций вредных веществ не превышают ПДК. Если по данным расчётов концентрация превышает ПДК и исчерпаны все технологические и санитарно-технические мероприятия, в т.ч. очистка от вредных веществ, то при надлежащем обосновании санитарно-защитная зона может быть увеличена. Последнее, естественно, относится к проектируемым предприятиям.

Методы очистки сточных вод

Поскольку сточные воды представляют собой полидисперсную гетерофазную устойчивую систему, то для очистки их необходимо предварительно разрушить эту агрегативную устойчивость и выделить из вод твёрдую фазу (взвешенные и плавающие вещества с плотностью, отличающейся от 1 кг/л), а коллоидные и истинно растворённые компоненты подвергнуть деструктивной обработке до получения простых наименее токсичных конечных продуктов. При этом требуется также уменьшить объём твёрдой фазы. Этому способствуют механические, химические, физико-химические, биологические методы очистки сточных вод, сочетанием которых создаётся технологическая схема очистных сооружений.

Наибольшее распространение для очистки городских и производственных сточных вод получили *механические методы: процеживание, отстаивание, фильтрование.*

Процеживание осуществляется с целью выделения крупных включений (бумага, тряпье, дерево и т.д.) из сточных вод. Выделение ведётся на различного рода решётках с шириной прозоров не более 16 мм. Собранные на решётках отбросы периодически направляются в дробилки, где они измельчаются с увлажнением и сбрасываются в канал перед решёткой для последующего выделения в отстойниках.

Выделение минеральных примесей, чаще всего песка, осуществляется в песколовках различной конструкции. Это необходимо для предотвращения абразивного износа оборудования и трубопроводов по транспортировке и обработке твёрдой фазы. Принцип действия песколовков основан на осаждении крупных взвешенных частиц при уменьшении скорости движения воды. В песколовках выделяется до 95% минеральных частиц из сточных вод.

Для выделения из сточных вод взвешенных и плавающих веществ, разделения иловой смеси применяются различного типа отстойники. На станциях очистки городских сточных вод функционально они подразделяются на первичные (выделяются взвеси и плавающие вещества) и вторичные (разделяется иловая смесь и отработанная биоплёнка с очищенной жидкостью).

Эффективность работы отстойников зависит от многих физико-химических и гидродинамических факторов, расхода, концентрации, температуры и состава сточных вод. Как правило, эффект выделения взвешенных веществ по массе в первичных отстойниках не превышает 60%, чаще всего 45-55%, по биохимической потребности в кислороде 12-20% (за счёт адсорбции органических загрязнителей на взвешях и плавающих).

Оседающие вещества накапливаются в сборных приемках отстойников, куда они направляются принудительно скребками или самотёком за счёт уклона дна отстойника. Удаление осадков из приемка производится через 4-8 часов специальными иловыми насосами.

Работающие в нормативном режиме первичные отстойники обеспечивают на выходе 100-150 мг/л взвешенных веществ, обеспечивая в свою очередь нормальную работу биофильтров и аэротенков.

Особенность очистки производственных стоков отстаиванием состоит в том, что для каждого типа стоков имеются свои оптимальные расчётные и эксплуатационные параметры, которые следует применять в каждом конкретном случае обработки вод, например, при очистке от маслонефтепродуктов (нефтеловушки), жиров (жироловки) и т.д.

Для промстоков, содержащих свыше 1,5 г/л минеральных загрязнений, эффективным является отстаивание в центробежном поле: гидроциклоны, центрифуги, сепараторы, применение которых при равной эффективности очистки по взвешенным веществам по сравнению с отстойниками значительно экономит необходимые производственные площади.

Метод фильтрования чаще всего является заключительным этапом обработки городских стоков. В этом случае фильтры входят в узел доочистки для более полного извлечения частиц активного ила или биоплёнки и, следовательно, взвешенных органических веществ.

Первым звеном узла доочистки чаще всего являются вращающиеся барабанные фильтры, которые очищают воду до остаточных концентраций 7-20 мг/л по взвешенным веществам и 5-10 мг/л по БПК. Более глубокая очистка вод осуществляется на безнапорных фильтрах с зер-

нистой загрузкой, в качестве которой может быть не только кварцевый песок, но и керамзит, мраморная крошка, шунгизит и другие местные материалы, удовлетворяющие по прочности и другим физико-химическим параметрам. Очищенная на фильтрах вода имеет 1-5 мг/л по взвешенным частицам и 1-3 мг/л по БПК₅.

При очистке производственных сточных вод фильтрование применяется как самостоятельный метод, а также в качестве конечной стадии обработки вод.

Фильтры для очистки промстоков бывают безнапорные и напорные, в качестве фильтрующего материала применяют ткани, металлические и пластмассовые сетки, зернистые минеральные и органические загрузки, плоские и объёмные. Они применяются для очистки вод от нерастворимых и коллоидных частиц, находящихся в суспензированном и (или) эмульгированном состоянии; взвешенных частиц, масло- и нефтепродуктов, жиров, гидрооксидов и сульфидов тяжёлых металлов и т.д.

Химические методы применяются главным образом для очистки производственных сточных вод. Основными методами являются нейтрализация и окисление-восстановление, они могут применяться как самостоятельные, так и как вспомогательные в сочетании с другими.

Производственные технологические процессы могут проходить как в кислых, так и в щелочных средах, что приводит к появлению соответствующих стоков. Сбалансировать количество ионов H^+ и OH^- - в этом и состоит суть реакции (и метода) нейтрализации при очистке стоков.

Наиболее целесообразным является взаимное объединение кислых и щелочных стоков (но не водоотведение по единой системе трубопроводов).

Для нейтрализации кислых вод применяются щелочные реагенты: известь, гашёная известь, кальцинированная и каустическая сода, аммиачная вода, а также фильтрование через нейтрализующие материалы (известняк, доломит, магнезит, мел).

Для нейтрализации щелочных вод наиболее часто применяют кислоты: серную, соляную, азотную, режу уксусную. Возможно использование для этих целей дымовых газов, содержащих CO_2 , SO_2 , NO_2 .

Если в кислых и щелочных промстоках имеются тяжёлые металлы, то целесообразно путём подбора дозы реагентов, одновременно с нейтрализацией стока, перевести тяжёлые металлы в нерастворимые гидроокислы с последующим их выпадением в осадок.

Окислительный метод применяется для очистки промышленных сточных вод от токсичных цианидов, сульфидов, меркаптанов, фенолов, крезолов и т.д. Реагентами для этого являются хлор и его производные (гипохлориты, хлораты), кислород, озон, перманганаты, хроматы и бихроматы, пероксид водорода.

Восстановительный метод применяется для очистки сточных вод от нитритов и нитратов, хроматов и бихроматов, хлоратов и перхлоратов, сульфатов, броматов, йодатов. Восстановителями в этом случае выступают окисленные переменновалентные элементы, содержащиеся в сульфитах, сульфидах, солях двухвалентного железа сернистом газе (из дымовых газов), а также некоторые органические вещества, например, гидразин.

Окислительно-восстановительная очистка сточных вод осуществляется в коррозионно-защищённых аппаратах при перемешивании, а выделение сформировавшейся твёрдой фазы осуществляется механическими способами.

Химический метод очистки сточных вод наиболее полно изучен, достаточно просто и надёжно автоматизируется и широко применяется на практике, несмотря на его очевидные недостатки – увеличение солесодержания очищенных вод, значительные затраты на реагентную. Быструю коррозию оборудования и труб.

Физико- химические методы (коагуляция, флокуляция, флотация, адсорбция, экстракция, электрохимическая очистка) в основном применяются для очистки промышленных сточных вод.

Коагуляция – это процесс укрупнения коллоидных частиц жидкости за счёт электростатических сил межмолекулярного взаимодействия. При первоначальном размере частиц 0,001-0,1 мкм после коагуляции их величина достигает 10мкм и более, т.е. тех размеров, при которых они могут быть выделены механическими методами. Коагуляция не только приводит к слипанию частиц, но и разрушает агрегативную устойчивость полидисперсной системы, в результате чего происходит разделение твёрдой и жидкой фаз. Наибольшее распространение получили алюмо- и железосодержащие коагулянты.

Флокуляция – процесс объединения коллоидных частиц в рыхлые хлопьевидные агрегаты под влиянием специально вводимых полиэлектролитов –флокулянтов, в качестве которых чаще всего применяют активированную кремнекислоту или полиакриламид. Флокуляция – это разновидность коагуляции.

Флотация – процесс выделения из воды в пенный слой взвешенных и эмульгированных загрязнений за счёт пузырьков газа, предварительно растворённых в очищаемой жидкости. Эффект очистки вод флотацией определяется свойствами очищаемых вод и загрязнений, способом получения флотирующего газа и составляет в среднем 56-65%. При введении в сточные воды коагулянтов и (или) флокулянтов, а также гидрофобизирующих поверхность частиц добавок в виде поверхностно-активных веществ, эффективность очистки флотацией может достигать 90-95%.

Адсорбция – процесс перехода молекулы растворённого вещества из объёма жидкости на поверхность твёрдого сорбента под действием его силового поля. Этот метод высокоэффективен для глубокой очистки производственных сточных вод от растворённых органических и некоторых неорганических загрязнений, он не только позволяет выделить и сконцентрировать загрязнения из сточных вод, но и утилизировать их в технологическом процессе, а очищенные воды использовать в оборотном водоснабжении. Следует отметить, что в воде, подаваемой на адсорбционную очистку, концентрация взвешенных частиц не должна превышать 2 мг/л во избежание закупоривания «рабочих» пор. В качестве сорбентов применяют различные естественные и искусственные материалы: золу, коксовую мелочь, торф, цеолиты, активные глины и др. – Однако чаще всего в качестве адсорбента применяют активированный уголь.

Из-за высокой стоимости очистки этим методом сточных вод, его наиболее целесообразно применять для очистки малоконцентрированных по органическим веществам стоков.

Для концентрированных (более 2 г/л) сточных вод, содержащих органические загрязнения, представляющие техническую ценность, эффективным методом очистки является *экстракция*. Метод основан на смешивании двух взаимонерастворимых жидкостей (одна из которых сточная вода, другая экстрагент – ацетон, хлороформ, бутилацетат, толуол и др.) и распределении в них, согласно растворимости, загрязнённого вещества. Разделение экстрагента и экстрагированного вещества производится перегонкой смеси. После перегонки экстрагент вновь используется в цикле очистки воды, а вещество утилизируется.

Электрохимическая очистка сточных вод – один из наиболее распространённых методов, поскольку на основе использования продуктов электролиза водных растворов в одном объединённом ряду процессов: электрокоагуляция, электрофлотация, электрофлотокоагуляция, электроокисление, электровосстановление, обеззараживание, электрокорректировка реакции среды. Данный метод применим для очистки вод от взвешенных, плавающих, эмульгированных, коллоидных и растворённых загрязнений (жиры, взвеси, масла, ПАВ, тяжёлые металлы, сульфиды, нефтепродукты). Однако значительный расход энергии, металлов для электродов, оборудования, образование большого количества трудно обезвоживаемых шламов являются сдерживающими факторами в распространении этого метода.

Биохимический метод основан на способности и потребности микробных сообществ использовать для питания растворённые и коллоидные органические соединения, а также некоторые неорганические вещества (соединения азота, фосфора, серы и др.) сточных вод. Этот метод применяется для очистки хозяйственно-бытовых и производственных стоков и является одним из наиболее экологически чистых.

Загрязнённость сточных вод органическими веществами характеризуется двумя показателями: БПК, ХПК.

БПК – биохимическая потребность в кислороде – опосредованный показатель содержания органических веществ – характеризует необходимое количество кислорода для микробного окисления органических веществ. Различают БПК_{полн}, БПК₂₀, БПК₁₀, БПК₅, соответственно обозначающие, сколько кислорода надо израсходовать на полное окисление органических веществ, на окисление в течение 20, 10 и 5 суток. Для хозяйственно-бытовых сточных вод БПК_{полн} соответствует БПК₁₀₀, БПК₂₀ составляет ориентировочно 0,99 БПК_{полн} ; БПК₅ - 0,685 БПК_{полн}.

ХПК – химическая потребность в кислороде – также опосредованный показатель – характеризует необходимое количество кислорода для химического окисления всех органических веществ, а заодно и восстановленных неорганических (аммонийный азот, сульфиды, сульфиты и т.д.).

Знание БПК и ХПК важно для контроля за технологическим процессом очистки сточных вод. ХПК можно определять непосредственно в ходе работы (время экспресс анализа 20 минут), с БПК поступить так же нельзя уже из-за длительности анализа. Поэтому обычно для оперативного контроля и управления режимом биохимической очистки вод в каждом отдельном случае в условиях установившегося режима строят график связи между БПК и ХПК. Определение ХПК и определение по нему БПК позволяет вовремя вносить коррективы в технологический режим.

Способность сточных вод к биохимической очистке характеризуется биохимическим показателем

$$Б = \text{БПК}_{\text{полн}} / \text{ХПК}.$$

По биохимическому показателю промстоки подразделяются на 4 группы:

$Б \geq 0,2$: к ним относятся сточные воды пищевой, нефтехимической и других отраслей промышленности, органические загрязнения которых не токсичны для микробных ценозов;

1. $0,02 \leq Б < 0,2$: промстоки коксохимических, азотнотуковых, содовых и других отраслей промышленности. Эти воды после предварительной механической очистки могут быть направлены на биохимическое окисление;
2. $0,001 \leq Б < 0,02$: к этой группе принадлежат промстоки процессов сульфирования, хлорирования, масел, ПАВ, сернокислотного производства, чёрной металлургии, тяжёлого машиностроения и др. После предварительной очистки на локальных очистных сооружениях данные стоки могут быть направлены на биохимическое окисление;
3. $Б < 0,001$: промстоки этой группы в основном загрязнены минеральными веществами и подлежат преимущественно механической очистке.

Для обеспечения надёжного стабильного режима аэробной микробной очистки требуется, чтобы помимо органических соединений в сточных водах присутствовали азот и фосфор в соотношении $\text{БПК}_{\text{полн}} : N : P = 100 : 5 : 1$.

Биохимическую очистку вод от органических веществ ведут в аэробных и анаэробных условиях. Аэробный метод основан на использовании аэробных и факультативно-аэробных микроорганизмов, для жизнедеятельности которых необходимо наличие кислорода и температура $10-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эти микроорганизмы культивируются во взвешенном (активный ил) и прикреплённом (биологическая плёнка) состоянии. Анаэробную очистку в основном применяют для концентрированных по органическим загрязнителям промстоков, а также для минерализации твёрдой фазы (осадков, илов, биоплёнки) на очистных сооружениях.

Активный ил представляет собой сообщество живых микроорганизмов (бактерии, простейшие черви, грибы, дрожжи, актиномицеты и др.) и твёрдого субстрата в виде коллоидной амфотерной системы. Основу активного ила составляют бактерии, скопления которых окружены слизистым слоем и называются *зооглеем*. Эти слизистые «комочки» способствуют сорбции загрязнений, их структурированию и осаждению. Твёрдый субстрат активного ила представляет отмершую биомассу, взвеси и т.д., на которых закреплены микроорганизмы. Хлопья активного ила имеют поверхность до 1200 м^2 на 1 м^3 , 1 м^3 ила содержит около $2 \cdot 10^{14}$ бактерий.

Аэробная очистка сточных вод может вестись в естественных (поля орошения, поля фильтрации, биологические пруды) и в искусственных (аэротенки, биофильтры различных модификаций) условиях.

Поля орошения представляют собой специально подготовленные для возделывания сельскохозяйственных культур участки, куда после предварительной механической очистки направляют по бороздам, трубам, лоткам и т.п. сточные воды. Одновременно с биологической очисткой на этих полях идёт усвоение биогенных веществ стока и перевод их в биомассу растений.

В том случае, когда агрокультуры не выращиваются и поля предназначены только для очистки сточных вод, они называются *полями фильтрации*.

Биологические пруды применяют для глубокой очистки городских, производственных и поверхностных сточных вод, содержащих органические вещества; это каскад прудов (3-5 ступеней), через которые с небольшой скоростью протекает вода, освобождаясь от органических загрязнений вследствие комплексного воздействия зоо- и фитопланктона, кислорода, фотохимических реакций, микрофлоры, донных отложений. Пруды могут быть как с естественной, так и с искусственной аэрацией. Остаточное количество органических веществ по $\text{БПК}_{\text{полн}}$ составляет 2-3 мг/л, что позволяет сбрасывать очищенные воды даже в рыбохозяйственные водоёмы.

Искусственные сооружения для очистки сточных вод – это аэротенки и биофильтры, и то и другое может быть самой разной конструкции. Общими требованиями для них является предварительное осветление сточных вод до остаточных концентраций по взвешенным веществам до 100-150 мг/л, поскольку эти вещества необходимы для прироста биомассы в биоокислителях, и не превышение содержания органических веществ 300 мг/л по $\text{БПК}_{\text{полн}}$.

Аэротенки – сооружения, имеющие большие поверхности, на которых закреплена живая биомасса.

Биофильтры представляют собой негерметичные ёмкостные сооружения, заполненные различной загрузкой (щебень, гравий, керамзит, пластмасса, стеклопор и т.д.) на поверхности которой развивается очищающая сточную воду биоплёнка. Режим подачи исходной воды на биофильтр прерывистый: через 5-8 минут в течение 2-3 минут. Вода проходит сквозь тело загрузки биофильтра сверху вниз, контактирует с биоплёнкой, на которой из воды сорбируются растворённые и взвешенные вещества. Воздух, необходимый для жизнедеятельности микроорганизмов поступает снизу вверх за счёт естественной тяги или принудительно.

Эффект очистки сточных вод по БПК_{полн} в зависимости от конструктивного и технологического решения аэротенков и биофильтров составляет 85-90%; углеродсодержащие вещества минерализуются в этих сооружениях до остаточных концентраций 15-30 мг/л и в них начинается начальная стадия нитрификации.

Обработка и утилизация осадков сточных вод

Главная проблема при очистке сточных вод, это не собственно очистка, а обработка и утилизация их твёрдой фазы.

Количество образующейся твёрдой фазы зависит от состава и расхода сточных вод, метода очистки и доходит до 3% от их объёма, при влажности от 85% (предприятия стройиндустрии) до 99,8% (активный ил).

Основные задачи обработки осадков сточных вод – обезвоживание, обеззараживание, утилизация.

В зависимости от зольности осадки могут быть трёх типов:

1. преимущественно минеральные (зольность более 70%);
2. преимущественно органические (зольность менее 30%);
3. смешанные (зольность 30-70%).

Осадки первого типа обладают хорошей влагоотдачей и могут быть обезвожены на простейших сооружениях (типа иловых площадок).

Осадки второго и третьего типов очень плохо отдают влагу и поэтому требуют предварительную подготовку – *кондиционирование*. Кондиционирование бывает реагентное (коагулянты – известь, флокулянты) и физикохимическое (автоклавирование, замораживание, инфракрасное, ультрафиолетовое, ультразвуковое облучения, жидкофазное окисление).

После кондиционирования осадки обезвоживают либо механическими методами (центрифуги, вакуум-фильтры, фильтр-прессы) с последующей их сушкой, либо на иловых площадках. Последний метод наиболее распространённый, хотя и имеющий наибольшие недостатки: необходимость больших площадей вследствие малых гидравлических нагрузок, вредные выделения в атмосферу, осадки, небезопасные в санитарном отношении (яйца гельминтов, патогенная микрофлора).

Большие объёмы образующихся и накапливающихся осадков (особенно на станциях очистки городских сточных вод) создают серьёзную проблему их утилизации. На начальном этапе этой утилизации наиболее целесообразным является анаэробное сбраживание сырых осадков, избыточных илов и биоплёнки в метатенках с получением биогаза, который можно использовать в бытовых и промышленных целях. Из одного кубометра загруженной смеси (кондиционированного осадка) можно получить 8-15 м³ биогаза, содержащего в среднем 65% метана, 33% углекислого газа и 2% водорода.

Второй этап предполагает дальнейшее использование их, например, в качестве удобрений, поскольку по содержанию основных биогенных веществ они близки к навозу крупного рогатого скота.

Вторичное использование и утилизация шламов промстоков в каждом конкретном случае должна решаться отдельно: возврат в технологический процесс, использование по новому технологическому назначению, обезвреживание и захоронение на полигонах токсичных промышленных отходов.

Обезвреживание и утилизация твёрдых бытовых отходов

В городах и населённых пунктах происходит интенсивное накопление твёрдых бытовых отходов (ТБО), которые при неправильном и несвоевременном удалении и обезвреживании могут быть причиной загрязнения ОС.

В состав ТБО входят: бумага (картон), пищевые отходы, дерево, металл (чёрный и цветной), текстиль, кожа, кость, стекло, резина, камни, полимерные материалы, отсев (уличный смет – менее 15 мм), прочие компоненты (неклассифицируемые части).

Сезонные изменения состава ТБО характеризуются увеличением содержания пищевых отходов с 20-25% весной до 40-55% осенью. Зимой и осенью сокращается содержание мелкого отсева (уличного смета) с 11 до 5%.

Наиболее важными с точки зрения возможности переработки свойствами ТБО являются плотность, механическая структура, слёживаемость.

Плотность ТБО благоустроенного жилого фонда в весенне-летний период (в контейнерах) составляет 0,18-0,22 т/м³; в осенне-зимний – 0,20-0,25 т/м³.

ТБО обладают механической (структурной) связностью, благодаря волокнистым фракциям (текстиль, проволока и др.) и сцеплениям, обусловленным наличием влажных липких компонентов. Вследствие связности ТБО обладают склонностью к свободообразованию и не просыпаются в неподвижную решётку с расстоянием между стержнями 20-30 см (критический размер ячейки).

Благодаря наличию твёрдых балластных фракций (керамика, стекло) ТБО обладает абразивностью, т.е. свойством истирать соприкасающиеся с ним поверхности.

ТБО обладает слёживаемостью, т.е. при длительной неподвижности теряют сыпучесть и уплотняются (с возможностью выделения фильтрата) без всякого внешнего воздействия. При длительном контакте с металлом ТБО оказывают на него корродирующее воздействие, что связано с высокой влажностью и наличием в фильтрате растворов различных солей.

Под воздействием внешнего давления ТБО могут уплотняться. При давлении в 0,3-0,5 МПа объём ТБО уменьшается в 5-8 раз за счёт ломки различного рода коробок и ёмкостей, плотность возрастает до 0,8-1,0 т/м³. Приблизительно такое давление создаётся в приёмном бункере мусороборочных машин. Более высокое давление (до 10-20 МПа) приводит к интенсивному выделению влаги (выделяется до 80-90% всей содержащейся в ТБО воды), плотность ТБО достигает 1,3-1,7 т/м³, объём снижается в 2-2,5 раза. Спрессованный до такого состояния материал на некоторое время стабилизируется, так как содержащейся в ней воды недостаточно для активной жизнедеятельности микроорганизмов и доступ кислорода в такую массу затруднён. В таком состоянии ТБО могут быть захоронены.

При решении проблемы обеззараживания и утилизации ТБО принимается во внимание климатические, географические, градостроительные условия, численность обслуживаемого населения.

Известно более 20 методов обеззараживания и утилизации ТБО. По каждому из них имеется 5-10 разновидностей технологий, технологических схем, типов сооружений.

Методы обеззараживания и переработки ТБО классифицируются по конечной цели и по технологическому принципу.

По конечной цели бывают ликвидационные (решают в основном санитарно-гигиенические задачи) и утилизационные (решают, кроме того, задачи экономики – использование вторичного сырья).

По технологическому принципу бывают биологические, термические, химические, механические, смешанные.

Наибольшее распространение у нас и за рубежом получили такие методы: складирование на полигонах (ликвидационный биолого-механический), сжигание (ликвидационный термический) и компостирование (утилизационный биологический). Все эти методы позволяют обезвреживать и утилизировать ТБО, соблюдая нормативы требований охраны ОС.

Простейшими и наиболее распространёнными сооружениями по обезвреживанию ТБО являются **полигоны**. Оптимальными условиями строительства полигонов являются: наличие свободного участка с основанием на водоупорных грунтах с размером, обеспечивающим приём ТБО на предстоящие 20-25 лет; расположение уровня грунтовых вод ниже 3 м от поверхности площадки; обеспечение грунтом или инертными отходами для изоляции ТБО; конфигурация участка, близкая к квадрату; получение разрешения на высоту складирования ТБО свыше 20 м; размещение на расстоянии до 15 км от центра сбора ТБО (при одноэтапном вывозе ТБО без применения перегрузочных станций).

Отходы складировать на грунт с соблюдением условий, обеспечивающих защиту от загрязнения атмосферы, почвы прилегающих участков, поверхностных и грунтовых вод, препятствующих распространению болезнетворных микроорганизмов. На полигонах производят уплотнение ТБО, позволяющее увеличить нагрузку обходов на единицу площади полигона и обеспечивающее экономное использование земельных участков. После закрытия полигонов поверхность земли рекультивируют для последующего использования.

Полигоны ТБО должны обеспечить охрану ОС по шести показателям вредности: органолептическому, общесанитарному, фитоаккумуляционному (транслокационному), миграционно-водному, миграционно-воздушному и санитарно-токсикологическому.

Органолептический показатель вредности характеризует изменения запаха, привкуса и пищевой ценности фитотест-растений на прилегающих участках действующего полигона и территорий закрытого полигона, а также запаха атмосферного воздуха, вкуса, цвета и запаха грунтовых и поверхностных вод.

Общесанитарный показатель отражает процессы изменения биологической активности и показателей самоочищения почвы прилегающих участков.

Фитоаккумуляционный (транслокационный) показатель характеризует процесс миграции химических веществ из почвы близлежащих участков и территории рекультивируемых полигонов в культурные растения, используемые в качестве продуктов питания и фуража.

Миграционно-водный показатель вредности выявляет процессы миграции химических веществ фильтрата ТБО в поверхностные и подземные воды.

Миграционно-воздушный показатель отражает процессы поступления выбросов в атмосферный воздух с пылью, испарениями и газами.

Санитарно-токсикологический показатель суммарно характеризует эффект влияния действующих в комплексе факторов.

Термические методы. Существует три метода термического обеззараживания и утилизации ТБО:

- слоевое или камерное сжигание исходных, неподготовленных отходов в топках мусоросжигательных печей;
- слоевое или камерное сжигание специально подготовленных (обогащённых) отходов (освобождённых от балластных составляющих и имеющих относительно стабильный фракционный состав) в топках энергетических котлов или в цементных печах;
- пиролиз и газификация отходов, прошедших предварительную подготовку или без неё;

Оптимальными условиями строительства завода по сжиганию ТБО с утилизацией тепловой энергии могут быть: обеспечение гарантированными круглосуточными и круглогодичными потребителями тепловой энергии в комплексе с подстраховывающими ТЭЦ или котельной; размещение завода в пределах городской застройки в промзоне и радиусе до 7 км (при одноэтапном вывозе ТБО без применения перегрузочных станций) от центра сбора ТБО; наличие шлакоотвала или потребителя шлака в качестве вторичного сырья не далее 10 м от завода; численность обслуживаемого населения более 350 тысяч человек.

Пиролиз отходов основан на способности органической массы отходов при нагревании в инертной среде выделять продукты термического разложения, такие, как оксид углерода, диоксид углерода, водород, метан и другие углеводороды. Этот процесс происходит при подводе тепла. При пиролизе отходов протекают связанные между собой процессы – сушка, сухая перегонка (собственно пиролиз), газификация, а также взаимодействие исходных горючих компонентов отходов с образовавшимися газообразными продуктами.

При газификации получают частично окисленные газы (оксид углерода, альдегиды, фенолы, эфиры, кислоты, углеводороды, в т.ч. полиароматические) благодаря восстановительным реакциям, в которые вступают продукты полного окисления, такие, как уголекислота, вода, соляная кислота и другие, с углеродом или водородом, содержащимися в отходах, а также за счёт неполного или частичного окисления углерода отходов. Газификация может протекать как с подводом тепла, так и с выделением последнего.

Все термические методы направлены, с одной стороны, на санитарно-гигиеническое (огневое) обезвреживание ТБО, а с другой – на получение тепла при слоевом сжигании исходных или подготовленных отходов, а также на производство твёрдого, жидкого или газообразного топлива при пиролизе отходов.

Компостирование ТБО. Компостирование ТБО возможно либо на заводах по механизированной переработке бытовых отходов (МПБО) либо на площадках. Оптимальными условиями строительства МПБО в компост являются наличие гарантированных потребителей компоста (органического удобрения или топлива) в радиусе до 20 км; размещение завода у границы города на расстоянии до 15 км от центра сбора ТБО; численность обслуживаемого населения более 350 тысяч человек.

В городах с населением 50-500 тыс. человек при наличии свободных территорий вблизи города целесообразно применять полевое компостирование ТБО как наиболее простой и дешёвый метод обеззараживания и переработки ТБО. Если на заводах МПБО основной технологический процесс – аэробное компостирование – происходит в сложных металлоёмких установках – ферментёрах (биобарабанах, биобашнях), то на площадках полевого компостирования – в от-

крытых штабелях. Правда при этом увеличивается срок переработки с 2-4 суток до нескольких месяцев.

Правильно организованное полевое компостирование, так же как и на заводах МПБО, обеспечивает защиту почвы, атмосферы, грунтовых и поверхностных вод от загрязнения ТБО, позволяет получить в результате переработки ТБО компост. Технология полевого компостирования допускает совместное обезвреживание и переработку ТБО с осадком сточных вод. При смешивании обезвоженного осадка с ТБО в соотношении 3 : 7 используются весь осадок сточных вод и все ТБО, образующиеся в городе. Компост, полученный из такой смеси, содержит больше азота и фосфора. Применяют две принципиальные схемы полевого компостирования? С предварительным дроблением ТБО и без предварительного дробления. В первом случае для измельчения ТБО используют специальные дробилки, во втором – измельчение (менее эффективное) происходит за счёт многократного перелопачивания компостируемого материала. Неизмельчённые фракции отделяют на контрольном грохоте. Установки полевого компостирования, оснащённые дробилками для предварительного измельчения ТБО, обеспечивают больший выход компоста и дают меньше отходов производства.

Как и заводы МПБО, сооружения и оборудование полевого компостирования должны обеспечить приём и предварительную подготовку ТБО, биотермическое обезвреживание и окончательную обработку компоста. ТБО разгружают в приёмный бункер или на выравненную площадку. Бульдозером, грейферным краном или специальным оборудованием формируют штабеля, в которых происходят процессы аэробного биотермического компостирования.

В процессе компостирования интенсивно снижается влажность материала, что, для повышения активности биотермического процесса наряду с перелопачиванием и принудительной вентиляцией, требует дополнительного увлажнения материала. Зрелый компост перед отправкой потребителю направляют на грохот, где его очищают от крупных балластных фракций и чёрного металла.