

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИФИ»

А.А. Викторов, В.Д. Гладких,
А.И. Ксенофонтов, В.В. Смирнов

ОСНОВЫ МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Рекомендовано УМО «Ядерные физика и технологии»
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений*

Москва 2011

УДК 504.5(075)+613.6(075)+621.039.553.5(075)
ББК 20.1я7+51.244я7
О-75

Викторов А.А., Гладких В.Д., Ксенофонтов А.И., Смирнов В.В.
Основы медико-экологической безопасности: Учебное пособие. М.:
НИЯУ МИФИ, 2011. – 192 с.

В пособие вошли разделы курса «Основы экологии и охраны окружающей среды», изложены вопросы по рассматриваемым медико-экологическим проблемам.

Приведены вопросы экологии, антропогенного воздействия на окружающую среду, загрязнения объектов окружающей среды, радиэкологии, охране водной и воздушной среды, почвы. Даны научно-практические основы взаимодействия общества и природы.

Предназначено для проведения занятий по курсам «Основы экологии и охраны окружающей среды», «Экология: технико-экономические основы», «Безопасная жизнедеятельность», «Медицинская физика».

Подготовлено в рамках Программы создания и развития НИЯУ МИФИ.

Рецензент канд. биол. наук,
доц. Е.И. Сарапульцева (ОИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ISBN 978-5-7262-1408-5

© *Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ», 2011*

Редактор *Е.Г. Станкевич*

Подписано в печать 10.12.2010. Формат 60x84 1/16
Печ.л. 12,0. Уч.-изд.л. 13,0. Изд. № 1/4/90. Тираж 200 экз.
Заказ № 35

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
115409, Москва, Каширское шоссе, 31.

ООО «Полиграфический комплекс «Курчатовский».
144000, Московская область, г. Электросталь, ул. Красная, д. 42

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение	5
Глава 1. Общие сведения об окружающей среде, её состоянии и последствиях антропогенного загрязнения	10
1.1. Основные составляющие окружающей среды и биосферы.....	10
1.2. Состояние окружающей среды, её загрязнение и вызываемые им последствия	19
1.3. Экотоксикология. Основные понятия и категории	41
1.4. Вопросы радиационной экологии. Радиобиология среды обитания.....	54
1.5. Пути уменьшения антропогенной нагрузки на окружающую среду.....	74
Контрольные вопросы и задания	78
Глава 2. Медико-экологические проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды	80
2.1. Основы социальной экологии	80
2.2. Понятия безопасности и риска.....	83
2.3. Оценка риска для здоровья населения, обусловленного влиянием вредных факторов среды обитания.....	89
2.3.1. Методология оценки риска здоровью населения	91
2.3.2. Алгоритм оценки риска	93
2.3.3. Идентификация опасности	94
2.4. Типы стандартных медико-экологических ситуаций и критерии их оценки	98
2.5. Эколого-гигиеническое обоснование системы управления здоровьем населения на территориях с высокой техногенной нагрузкой	104
Контрольные вопросы и задания	109
Глава 3. Медико-экологический аудит	110
3.1. Общие положения	110
3.2. Область применения	114
3.3. Основные критерии медико-экологического аудита. Надёжность результатов выводов по аудиту	115
3.4. Аудиторское заключение.....	117
3.5. Данные медико-экологического аудита	119
Контрольные вопросы и задания	123

Глава 4. Медицинские аспекты в экологическом аудите	125
4.1. Основные принципы установления гигиенических регламентов в различных средах	125
4.2. Экологически обусловленная заболеваемость и общие принципы её диагностики	128
4.3. Методы эпидемиологического анализа в медико-экологических исследованиях системы «здоровье человека – среда обитания».....	135
4.4. Социально-гигиенический мониторинг – инструмент комплексной динамической оценки явлений и факторов в системе «среда обитания – здоровье человека».....	137
4.5. Геоинформационные технологии в эколого-гигиенических исследованиях	138
Контрольные вопросы и задания	140
Глава 5. Доказательная экологическая медицина.	
Юридические аспекты медико-экологической безопасности	141
5.1. Методология экигиены	143
5.2. Использование статистических методов при оценке ущерба здоровью населения от воздействия факторов среды обитания.....	146
5.2.1. Виды статистических распределений показателей здоровья населения	146
5.2.2. Применение статистики малых множеств при сравнении показателей здоровья населения, проживающего в исследуемом и контрольном районах	155
5.2.3. Пример использования групповых статистических критериев для оценки донозологических и патологических состояний индивидуального здоровья и рисков здоровью в условиях хронического негативного воздействия химических токсикантов	167
Контрольные вопросы и задания	176
Основные термины и понятия	178
Список использованной литературы	192

ВВЕДЕНИЕ

Медико-экологическая безопасность – новое научно-практическое направление, возникшее в пограничной области медицины, здравоохранения и экологии, основной целью которого является доказательное установление причинно-следственных связей неинфекционных заболеваний населения и источника заболеваний, реабилитация здоровья и устранение причин заболевания.

Его появление связано с тем, что в последние десятилетия произошли значительные изменения в спектре заболеваемости населения, обусловленные возрастающим влиянием неблагоприятных факторов окружающей среды. Опасность экологического неблагополучия, типичного для многих городов России, особенно высока для здоровья и развития детей. Большое значение имеет повышенная возрастная чувствительность к токсической или радиационной экспозициям. Вред, наносимый физическому и психическому развитию и здоровью детей, создаёт угрозу деградации будущего взрослого населения и, тем самым, последующих поколений, т.е. подрывает основной популяционный резерв нации.

Смертность в Российской Федерации превышает рождаемость. Уменьшение численности населения происходит со скоростью примерно 1 млн чел. в год. Практически повсеместный неуклонный рост заболеваемости на фоне роста потребления лекарственных препаратов свидетельствует о возрастающем влиянии неблагоприятных факторов окружающей среды. В результате большая часть заболеваний химической и физической этиологии остаётся не идентифицированной, нет прицельной работы по локализации и ликвидации источников конкретных токсичных веществ и нет эффективных методов целенаправленного лечения.

В настоящее время к экологически неблагоприятным районам относятся территории, на которых проживают до 60 % россиян. При этом около 15 % территории России по экологическим показателям находятся в критическом или околочитическом состоянии, в основном, вокруг индустриальных центров Центрального района, Сибири и Урала.

Медико-экологическое и санитарно-гигиеническое обеспечение безопасности человека предусматривает комплексное использование междисциплинарных подходов оценки влияния экологически

неблагоприятных факторов на здоровье человека, обоснование приоритетных направлений снижения опасности для человека воздействий радиационных, физических, химических, биологических и других факторов.

Медико-экологические исследования включают первоначальную оценку потенциально опасных техногенных и природных факторов воздействия окружающей среды на здоровье населения, проживающего вблизи промышленных объектов; сравнительный анализ медико-демографических показателей и медицинской статистики; отбор представительной выборки пациентов; углубленное клинико-лабораторное обследование представительной выборки населения в условиях специализированной клиники; токсикогигиенический анализ по выбросам (сбросам) предприятия и разработка рекомендаций по методам профилактики и лечения выявленных заболеваний химической или физической этиологии.

Результаты исследований по эколого-гигиенической оценке ситуации позволяют сделать заключение об отрицательном воздействии на население загрязнения атмосферного воздуха, воды, почвы и «пищевых цепочек» токсикантами техногенного происхождения. Ведущие онкологи считают, что 80 % опухолей возникают из-за факторов внешней среды. В структуре заболеваемости лидирующее положение стал занимать рак лёгких и кожи с одновременным изменением в возрастном составе больных.

Масштабы антропогенного воздействия на атмосферный воздух квалифицируются как значительные с точки зрения изменений в среде обитания человека и экологических последствий не только для крупных промышленных центров, но и для малых городов. Выявлена корреляционная связь между загрязнением воздуха и заболеваемостью органов дыхания.

В результате анализов показана прямая положительная связь между рядом химических показателей качества питьевой воды и нозологическими формами соматической заболеваемости среди населения.

Преобразования общества и связанные с этим новые формы оказания медицинской помощи делают совершенно необходимым представления о заболеваемости населения в самых разных аспектах. В деле улучшения здоровья населения конкретный анализ причинно-следственных связей между состоянием здоровья и опреде-

ляющими его факторами позволяет вскрыть специфику конкретной обстановки. Несмотря на значительное количество сведений о роли факторов внешней среды в изменении состояния здоровья населения, характер и степень этого влияния остаются во многом невыясненными.

Проводимые экологическая экспертиза и экологический аудит не осуществляют и не используют анализ состояния здоровья населения ни в форме медицинской статистики, ни, тем более, в виде лабораторно-клинических исследований, ограничиваясь, как правило, установлением и проверкой соблюдения нормативных санитарно-гигиенических показателей. Экологи не сотрудничают с медиками, хотя экологическая безопасность по своему определению как «состояние защищённости природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, их последствий» предусматривает такие оценки и исследования. В свою очередь медики в попытках оценить санитарно-эпидемиологическое благополучие населения не сотрудничают с экологами и не используют результаты их исследований и технический потенциал.

Таким образом, человек и состояние его здоровья не являются непосредственно объектом и критерием оценки экологической безопасности, которую предполагается обеспечить соблюдением санитарно-гигиенических нормативов.

Исключительная сложность выявления причинно-следственных связей, обусловлена множеством усложняющих обстоятельств. Среди них:

- неспецифичность воздействия большей части химических и физических факторов;
- многообразии симптоматических вариантов течения отравлений одним и тем же токсикантом;
- сочетанное воздействие на организм человека сразу нескольких токсичных веществ;
- снижение толерантности организма к воздействию факторов биологической природы и возникновение вторичных заболеваний, существенно затрудняющих выявление первопричины массовых патологий;

- отсутствие общедоступной и полной базы данных по экотоксикантам.

В качестве основных этапов реализации прав граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду концепция медико-экологической безопасности предполагает, среди прочего, медико-экологическую экспертизу (медико-экологический аудит). Концепция медико-экологической безопасности предусматривает концентрацию усилий на основе взаимодействия медицинских и экологических служб при проведении медико-экологического аудита.

Объектом медико-экологического аудита являются население и организации, негативно воздействующие на окружающую среду. В основе медико-экологического аудита лежат:

оценка результатов медико-экологических исследований по определению фактического состояния здоровья представительной выборки населения, проживающего вблизи промышленных объектов;

выявление причинно-следственных связей между состоянием здоровья и факторами внешнего воздействия.

Для обеспечения объективности процесса аудита, его результатов, члены аудиторской группы должны быть независимы от проверяемой ими деятельности.

Настоящее учебное пособие написано для проведения занятий со студентами естественно-научных специальностей и призвано проиллюстрировать содержание курсов «Основы экологии и охраны окружающей среды», «Экология: технико-экономические основы», «Безопасность жизнедеятельности», а также ряд дисциплин по специальности «медицинская физика». На этих занятиях студенты могут применить ранее полученные знания по физике, математике, химии и прикладным наукам.

Развитие и внедрение системы социально-гигиенического мониторинга и оценка медико-экологической безопасности требуют подготовки специалистов. С этой целью НИЯУ МИФИ планирует проводить подготовку и повышение квалификации аудиторско-экологов, имеющих высшее образование в области медико-экологической безопасности. Программа обучения учитывает специализацию слушателей и характер их основной деятельности. Слушатели получают полный комплект методических материалов,

изучают их, выполняют задания и затем на базе МИФИ в течение недели проходят очное обучение.

Авторы стремились создать пособие, которое отражало бы основы медико-экологической безопасности и прикладные вопросы охраны окружающей среды. В зависимости от специализации и подготовленности студентов те или иные разделы курса могут быть усилены более подробным материалом.

Авторы будут признательны и благодарны за все полезные замечания и пожелания, высказанные по улучшению представленного материала.

В написании учебного пособия приняли участие: д-р техн. наук, проф. А.А. Викторов (гл. 3, 4, 5), д-р мед. наук, проф. В.Д. Гладких (гл. 1, 2, 4), канд. физ.-мат. наук, доц. А.И. Ксенофонтов (введение, гл. 1, 2), канд. физ.-мат. наук, доц. В.В. Смирнов (гл. 4, 5).

Г Л А В А 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ЕЁ СОСТОЯНИИ И ПОСЛЕДСТВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

1.1. Основные составляющие окружающей среды и биосферы

Под окружающей средой понимают совокупность в данный период физических, химических, биологических характеристик, а также социальных факторов, способных оказывать прямое или косвенное, немедленное или отдалённое воздействие на человека. Окружающая среда – комплекс объектов, явлений и процессов, внешних по отношению к данному организму, популяции или сообществу организмов, но взаимодействующих с ними за счёт круговорота веществ в при-роде.

Автором термина «биология» является французский естествоиспытатель Ж.Б. Ламарк, который употребил его в 1802 г. для обозначения совокупности организмов, обитающих на земном шаре. Затем на длительное время этот термин был забыт. В 1875 г. его рассмотрел профессор Венского университета Э. Зюсс в работе о строении Альп. Он ввёл в науку представление о *биосфере* как особой оболочки земной коры, пространстве на поверхности земного шара, в котором распространены живые существа.

Биосфера – «область жизни», пространство на поверхности земного шара, в котором обитают живые существа.

В данном контексте этот термин использовал русский учёный-геохимик В.И. Вернадский в статье 1914 г. об истории рудения в земной коре. В 1926 г. академик Вернадский опубликовал свой классический труд «Биосфера», где впервые выдвинул тезис о роли живого вещества в формировании и поддержании физико-химических свойств основных оболочек Земли. Совокупность всех живых организмов, когда-либо обитавших и обитающих, несмотря на свою незначительную долю в общей массе Земли, играет огромную роль в геологической эволюции, во всех физических и хими-

ческих процессах, протекающих на земной поверхности и в толще вод. «Живые вещества, – писал Вернадский, – являются функцией биосферы и теснейшим образом материально и энергетически с ней связаны, являются огромной геологической силой, её определяющей».

В.И. Вернадский рассматривал биосферу как область жизни, включающую наряду с организмами и среду обитания.

Среда обитания – часть природы, окружающая живые организмы и оказывающая на них определённое воздействие.

По Вернадскому, в биосфере выделяют различные геологически взаимосвязанные типы веществ:

- живое вещество – совокупность тел живых организмов, населяющих Землю независимо от их систематической принадлежности;
- биогенное вещество – геологические породы, созданные благодаря жизнедеятельности живых организмов (каменный уголь, известняк и др.);
- косное вещество, образующееся без участия живого вещества, например горные породы, возникающие при извержении вулканов;
- биокосное вещество, создающееся одновременно и живыми организмами, и косными процессами, например – почвы;
- радиоактивное вещество;
- рассеянные атомы;
- вещество космического происхождения.

Перемещения и превращения химических элементов через косную и органическую природу при активном участии живого вещества В.И. Вернадский определял как *биогеохимические циклы*, обеспечивающие возможность длительного существования и развития жизни при ограниченном запасе доступных химических элементов в природе.

Биосфера характеризуется биологическим разнообразием живого вещества. Иерархичность организации живой материи позволяет условно подразделить её на ряд уровней, характеризующих функциональное место биологической структуры определённой сложности в общей иерархии живого. Выделяют следующие уровни организации живой материи:

1. *Молекулярный* (биохимические системы клеток). На этом уровне проявляются такие процессы жизнедеятельности, как обмен веществ, превращение энергии и передача наследственной информации.

2. *Субклеточный* – система органелл, участвующая в клеточных функциях, обеспечивающих пластические и энергетические процессы.

3. *Клеточный*. Клетка как элементарная структурно-функциональная единица живого организма, поддерживающая и восстанавливающая свою целостность благодаря высоким адаптивным возможностям, реализуемым взаимообусловленной деятельностью органелл.

4. *Тканевый и органный* – система клеток, обеспечивающая функциональную и морфологическую устойчивость дифференцированных тканей, специализированных органов и систем.

5. *Организменный* – целостная биологическая система, способная к длительному независимому существованию за счёт высоких адаптивных возможностей во взаимодействии со средой обитания.

6. *Популяционный* – элемент *биоценоза* – как система организмов, поддерживающих сохранение биологического вида – совокупности особей, сходных по строению и способных к скрещиванию между собой с образованием плодovитого потомства.

7. *Биоценотический* (биогеоценотический). *Биоценоз* как совокупность организмов разных видов, обитающих на одной территории, взаимно связанных в цепи питания и оказывающих друг на друга определённое влияние. Относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое биоценозом, называется *биотопом*.

Количественно популяции как совокупности особей одного вида, населяющих определённое пространство, внутри которого происходит постоянное скрещивание, характеризуются:

- численностью (определяющейся биотическим потенциалом вида и внешними условиями жизни);
- структурной организацией (в частности, соотношением групп особей по полу, возрасту, генотипу);
- рождаемостью;
- смертностью;

- выживаемостью (абсолютной или относительной от исходного числа особей, сохранившихся за определённый промежуток времени).

Комплекс свойств популяции, направленных на повышение вероятности выживания и оставление потомства, называется *экологической стратегией выживания*.

Биогеоценоз – однородный участок земной поверхности с определённым составом живых и неживых компонентов, объединённых обменом веществ и энергии в единый природный комплекс. Совокупность различных живых организмов, населяющих определённую территорию и входящих в состав биогеоценоза, называется *биотой*.

В литературе наряду с терминами «биоценоз» и «биогеоценоз» используется термин «*экосистема*» – структурно-функциональная единица, состоящая из взаимодействующих биотических и абиотических компонентов.

Границы биосферы определяются наличием условий, необходимых для жизни разных организмов. Верхний предел жизни биосферы ограничен интенсивной концентрацией ультрафиолетовых лучей: физическим пределом распространения жизни в атмосфере является озоновый слой. Нижний предел существования жизни традиционно определяют дном мирового океана и глубиной литосферы, характеризующейся температурой 100 °С.

Живые организмы, населяющие нашу планету, в процессе эволюции освоили четыре среды обитания: водную, наземно-воздушную, почвенную и организменную (табл. 1.1). Каждая из сред обитания отличается особенностями воздействия экологических факторов – отдельных компонент или элементов среды, которые воздействуют на организм. Основные принципы классификации экологических факторов приведены в табл. 1.2.

Экологические факторы среды при воздействии на организм могут выступать:

- как ограничители, определяющие невозможность существования в данных условиях;
- как модификаторы, вызывающие анатомические и морфологические изменения организма;
- как раздражители, инициирующие приспособительные изменения физиологических или биохимических показателей;

как сигналы, свидетельствующие об изменении тех или иных факторов среды обитания.

По отношению к каждому фактору выделяют: зону оптимума (нормальной жизнедеятельности), зону пессимума (угнетения) и пределы выносливости организма, за которыми существование организма невозможно.

Таблица 1.1

Сравнительная характеристика сред обитания и адаптаций к ним живых организмов

Среда	Характеристика среды	Адаптация организма к среде*
Водная	Наиболее древняя. Относительно однородная в пространстве и стабильная во времени. Дефицит кислорода. По мере погружения в глубину освещённость уменьшается, давление возрастает	Преимущественно морфологический тип адаптации
Почвенная	Создана живыми организмами. Осваивалась одновременно с наземно-воздушной средой. Неоднородная (гетерогенная) в пространстве. Во времени условия более постоянны, чем в наземно-воздушной среде обитания, но более динамичны, чем в водной и организменной. Высокая плотность. Дефицит или полное отсутствие света	Преимущественно морфологический тип адаптации
Наземно-воздушная	Гетерогенная в пространстве. Очень динамична во времени. Разреженная. Обилие света и кислорода	Морфологический, физиологический и этологический тип адаптации
Организменная	Жидкая (кровь, лимфа) или твёрдая (ткани). Наибольшее постоянство среды во времени из всех сред обитания	Коадаптация паразита и хозяина, симбиотов друг к другу

* Адаптация – процесс приспособления организма или другой биологической системы к изменяющимся условиям среды обитания, выработавшаяся у организмов в процессе эволюции. Выделяются три вида адаптации: морфологическая, основанная на структурных особенностях организма; физиологическая (как специфические изменения на функциональном уровне); этологическая, выражающаяся различными приспособительными формами поведения.

По отношению к любому фактору организм обладает определённым диапазоном выносливости или *толерантности* – способностью живых организмов в той или иной степени переносить количественные колебания действия экологических факторов.

Таблица 1.2

Принципы классификации экологических факторов

Принцип классификации	Виды экологических факторов
По фактору времени	Эволюционные, исторические, действующие
По периодичности	Периодические, непериодические
По среде возникновения	Атмосферные, водные, геоморфологические, физиологические
По очередности возникновения	Первичные, вторичные
По происхождению	Естественные, искусственные; космические, абиотические, биотические, антропогенные, техногенные
По характеру	Информационные, физически, химические, энергетические, климатические, биогенные
По эффекту (степени воздействия)	Смертельные, экстремальные, ограниченные, беспokoящие, канцерогенные, мутагенные, тератогенные
По спектру воздействия	Избирательного или общего действия
По объёму влияния	Индивидуальные, групповые, видовые, социальные

Виды с широкой зоной толерантности называются *эврибиотными*, с узкой – *стенобиотными*. В силу того, что экологические валентности отдельных индивидуумов не совпадают, экологическая валентность вида шире экологической валентности отдельной особи.

В ходе длительной эволюции живые организмы в интересах индивидуального и популяционного выживания приспособлялись (адаптировались) к изменению условий среды обитания. Способность к адаптации – одно из основных свойств живого, проявляющееся в изменении биохимических и физиологических свойств клетки, поведения отдельных особей, перестройки целых экосистем и т.д.

Выделяют три уровня адаптации экологических систем:

- 1) приспособительные реакции индивидуального организма;
- 2) приспособительные реакции надорганизменного уровня, типичные для природных систем, подверженных длительному влиянию неблагоприятных факторов;
- 3) процесс адаптивной микроэволюции, когда в результате длительного воздействия экологического фактора через ряд промежуточных этапов со снижением продуктивности и численности популяция восстанавливает численность в рамках новой экологической нормы.

Окружающая среда с её физическими, химическими, климатическими, биологическими и другими параметрами, с точки зрения эволюции биологических видов, относительно консервативна. Темпы её изменения позволяют живым организмам успевать приспособляться к меняющейся обстановке.

Человек – часть биосферы, продукт её эволюции, связанный с окружающей средой обменом вещества и потоков энергии. Благодаря более высокому, по сравнению с другими организмами, уровню организации, его взаимоотношения со средой обитания отличаются существенными особенностями.

С одной стороны, на него, как на часть живого вещества, действуют экологические факторы среды. С другой стороны, человек как экологический фактор, в отличие от животных, не только пользуется природными ресурсами, но и действует на окружающую среду целенаправленно, приспособлявая её под свои нужды.

Человечество представляет собой единственный на Земле вид, обитающий повсеместно, что превращает его в экологический фактор с глобальным распространением влияния. В то же время экологический оптимум существования человека, с учётом его биологических и психических процессов, ограничен, и возможность широкого расселения достигается не путём изменения собственной физиологии, психики, а путём создания искусственной среды. В результате естественные экосистемы вытесняются антропоэкологическими системами, доминирующим экологическим фактором которых является сам человек.

Антропоэкологические системы (антропоэкосистемы) – пространственные подразделения среды обитания человека, характеризующиеся сходством природных, социально-экономических,

производственных, эколого-гигиенических и культурно-бытовых условий жизнедеятельности населения. Эти условия формируют мировосприятие, уровень здоровья, демографическое поведение, образ жизни.

С учётом сформировавшихся антропоэкосистем, окружающая среда человека представляет собой четыре неразрывно взаимосвязанные подсистемы:

- 1) собственная природная среда – факторы естественного или природно-антропогенного происхождения, прямо или косвенно воздействующие на отдельного человека и человечество в целом;
- 2) среда «второй природы» или квазиприродная среда – все элементы природной среды, искусственно преобразованные человеком и характеризующиеся отсутствием способности к самоподдерживанию (т.е. постепенно разрушающиеся без постоянного регулирующего воздействия со стороны человека);
- 3) артеприродная среда или «третья среда» – созданный человеком искусственный мир, не имеющий аналогов в естественной природе, начинающий разрушаться без непрерывного обновления;
- 4) социальная среда – организованная совокупность связей людей, в которой формируются и удовлетворяются психологические, культурные, социальные и экономические потребности личности.

В процессе существования антропоэкосистемы взаимодействие людей и природной среды осуществляется по трём основным направлениям:

- 1) происходит изменение биологических и социальных показателей отдельных индивидуумов и общества в целом, направленных на удовлетворение требований, предъявляемых человеку окружающей средой;
- 2) изменяется сознание человека;
- 3) осуществляется перестройка самой окружающей среды для удовлетворения требований человека, в результате которой природные запасы постепенно истощаются.

Общим результатом биологических и социальных процессов в антропоэко системах являются психосоматическая индивидуальная и групповая адаптация человеческих сообществ к условиям жизни.

Следовательно, среда обитания человека представляет собой переплетение взаимодействующих биологических, психических и антропогенных экологических факторов, совокупность которых в различных регионах планеты характеризуется своеобразием, обусловливающимся природно-географическими, социально-экономическими и психологическими особенностями.

Согласно уставу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), единым интегральным критерием качества среды, с точки зрения её пригодности для обитания человека, является состояние здоровья населения. По определению, данному ВОЗ, «Здоровье – это полное физическое, психическое и социальное благополучие индивида, а не только отсутствие болезней и физических недостатков».

Для экспертной оценки (выбора) приоритетных показателей здоровья используют следующие критерии:

- эпидемиологические, включающие в себя оценку наблюдаемых показателей здоровья (обычно в сравнении с фоновыми уровнями или со стандартными), их динамики (направленности и устойчивости многолетних тенденций) и удельного веса отдельных классов болезней (нозологических форм) в структуре общей заболеваемости;
- гигиенические, основанные на знании реально существующих на территории санитарно-экологических факторов риска для здоровья населения;
- социальные, определяющиеся уровнем смертности населения в результате перенесенных заболеваний, а также возможностью распространения болезни в популяции;
- экономические, обусловленные размерами экономического ущерба в случае возникновения заболевания и экономического эффекта в результате его предупреждения.

1.2. Состояние окружающей среды, её загрязнение и вызываемые им последствия

Хозяйственная деятельность человека в течение последнего столетия привела к серьёзному загрязнению планеты разнообразными отходами производства. В столь относительно короткий промежуток времени в биосферу было внесено большое количество химических соединений, из которых около 4 млн потенциально опасных для окружающей среды и свыше 180 тыс. – токсичных для живых организмов.

Воздушный бассейн, водные объекты и почвы в районах крупных промышленных центров содержат токсичные вещества, концентрации которых зачастую существенно превышают допустимые значения. Можно констатировать, что к настоящему времени деятельность человека приобрела масштаб геоэкологических процессов, приводящих к изменению естественных биогеохимических циклов на Земле, что в свою очередь негативно сказывается на здоровье человека. Последнее обстоятельство обусловило нарастающую тенденцию в экологических исследованиях переноса приоритета с охраны природных ресурсов на охрану здоровья человека.

Под загрязнением окружающей среды понимают любые нежелательные для экосистем антропогенные изменения и классифицируют на биоценотическое воздействие, вызывающее нарушение в составе и структуре популяций, стационально-деструкционное, приводящее к нарушению и преобразованию ландшафтов и экосистем в процессе природопользования, параметрическое, изменяющее качественные параметры окружающей природной среды, например тепловые, световые, радиационные.

Загрязнение окружающей среды классифицируют на естественное, связанное с природными катаклизмами (в частности, извержение вулканов, пыльные бури, лесные пожары), и антропогенное, возникающее в процессе хозяйственной деятельности человека.

Уровень естественного загрязнения рассматривается как фоновый, который незначительно меняется во времени.

По масштабам загрязнение окружающей среды может быть глобальным, региональным, локальным (местным). Загрязнение, в зависимости от вида, может быть биологическим, физическим и химическим.

Химические соединения, обладающие биодоступностью, т.е. способностью взаимодействовать немеханическим путём с живыми организмами, представляют первостепенный интерес с точки зрения медико-экологической безопасности.

Часть биодоступных соединений утилизируется живыми организмами, участвуя в процессах их пластического и энергетического обмена с окружающей средой, выступая в качестве ресурсов среды обитания. Другие, поступая в организм, не используются в качестве источника энергии или пластического материала, но, действуя в достаточных дозах и концентрациях, способны вмешиваться в биохимические процессы организма. Такие соединения называются чужеродными или ксенобиотиками.

Совокупность чужеродных веществ, содержащихся в агрегатном состоянии в окружающей среде, позволяющей им вступать в химические и физико-химические взаимодействия с биологическими объектами экосистемы, составляет ксенобиотический профиль биогеоценоза.

Ксенобиотический профиль (наряду с температурой, освещённостью, влажностью, трофическими условиями и т.д.) является одним из важнейших факторов окружающей среды, который может быть описан качественными и количественными характеристиками. Биоценозы, существующие в различных регионах, в той или иной степени адаптированы к соответствующим естественным (сформировавшимся в ходе эволюционных процессов) ксенобиотическим профилям. Различные природные коллизии, а в последние годы и хозяйственная деятельность человека, существенным образом изменили естественный ксенобиотический профиль многих регионов (особенно урбанизированных).

Химические вещества, накапливающиеся в окружающей среде в несвойственных ей количествах и являющиеся причиной изменения естественного ксенобиотического профиля, выступают в качестве экополлютантов (загрязнителей).

К химическим загрязнителям (поллютантам, экополлютантам) относят вещества, оказывающие вредное воздействие на живые организмы за счёт прямого или косвенного влияния на состояние популяций и биоценозов.

В табл. 1.3 приведены данные, характеризующие глобальные эмиссии химических поллютантов естественного и антропогенного происхождения.

Таблица 1.3

**Глобальные эмиссии из природных источников и в результате
человеческой деятельности**

Химические соединения	Природные источники, млн т/год	Человеческая деятельность	
		млн т/год	% общей эмиссии
Диоксид углерода	600 000	22 000	3,5
Оксид углерода	3 800	550	13,0
Аэрозоли	3 700	246	6,0
Углеводороды	2 600	90	3,0
Метан	1 600	110	6,0
Аммиак	1 200	7	0,6
Оксиды азота	770	53	6,5
Соединения серы	304	150	33,0

Экополлютанты подразделяют на две группы. К первой относят вещества, продуцируемые в количествах, не оказывающих прямого негативного эффекта на живые организмы, но инициирующих нарушение химических и физических параметров окружающей среды, что в определённых условиях может оказать влияние на выживаемость биологических видов. Вторая группа – вещества, способные в достаточных количествах оказывать вредное воздействие на живой организм.

Источниками антропогенного (техногенного) загрязнения окружающей среды служат различные объекты производственной и бытовой деятельности (табл. 1.4).

Техногенные источники загрязнения характеризуются большой скученностью, что приводит, как правило, к локальным загрязнениям воздушной среды. Однако ряд поллютантов, за счёт физико-химических и биологических процессов, протекающих в окружающей среде, способен к активному включению в биосферный круговорот веществ. Экополлютанты, переходящие из одной среды в другую, относятся к стойким загрязнителям.

Таблица 1.4

Основные виды антропогенного загрязнения и их источники

Вид загрязнения	Отрасль промышленности, для которой характерен указанный вид загрязнения
Воздух	
Галогенсодержащие соединения	Химическая, холодильная
Металлические частицы	Металлургическая, горнодобывающая
Углеводороды	Тепловая энергетика, транспорт
CO ₂ , SO ₂ , NO, NO ₂	Тепловая энергетика, транспорт
Почва	
Активный ил	Городские станции биологической очистки
Зола, шлак	Энергетическая, металлургическая
Металлы	Металлургическая, химическая
Мусор	Коммунально-бытовое хозяйство, городское хозяйство
Пластмассы, органические вещества	Химическая
Радионуклиды	Атомная энергетика, военная
Целлюлоза и бумага	Целлюлозно-бумажная, коммунально-бытовое хозяйство
Вода	
Взвешенные частицы	Коммунально-бытовое хозяйство
Ионы тяжёлых металлов	Горнодобывающая, машиностроительная
Красители, фенолы	Текстильная
Легкоусвояемые и биогенные вещества, пестициды	Сельское хозяйство, городское хозяйство
Минеральные соли, Органические растворители	Химическая
Нефтепродукты	Нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая
Радионуклиды	Атомная энергетика, военная
Синтетические поверхностно-активные вещества	Городские стоки
Тепло	Энергетическая

При оценке антропогенного загрязнения окружающей среды важно учитывать возможные экологические последствия, которые они могут вызвать (табл. 1.5)

Странами ООН, участвующими в мероприятиях по улучшению и охране окружающей среды, согласован перечень наиболее важных веществ, загрязняющих биосферу, и являющихся опасными для здоровья человека. К их числу относят соединения тяжёлых металлов, пестициды, полициклические ароматические углеводороды, хлорорганические соединения, нефтепродукты, фенолы, детергенты, нитраты.

Тяжёлые металлы – это металлы с большой плотностью: свинец, кадмий, ртуть, никель, кобальт, хром, медь, цинк, мышьяк, сурьма и селен. Их поступление в организм в избыточных количествах приводит к развитию природных и техногенных *микрэлементозов*. В малых количествах (от 10^{-3} до 10^{-12} %) они необходимы для нормальной жизнедеятельности организма.

Особое место металлов среди других химических поллютантов обусловлено следующими причинами:

скорость извлечения металлов из земной коры человеком выше, чем геологическая скорость их извлечения;

в отличие от большинства органических загрязнителей, подвергающихся процессам разложения, металлы способны лишь к перераспределению между отдельными компонентами геосфер;

металлы сравнительно легко накапливаются в почвах и трудно из неё удаляются (период полувыведения из почвы цинка – до 500 лет, меди – 1500 лет, свинца – до нескольких тысяч лет);

металлы хорошо аккумулируются органами и тканями теплокровных животных и гидробионтов;

металлы высокотоксичны для различных биологических объектов.

В аспекте медико-экологической безопасности из тяжёлых металлов наибольшее значение придаётся так называемой большой четвёрке: кадмию, свинцу, ртути и мышьяку.

Кадмий широко распространён в окружающей среде. Источниками антропогенного загрязнения являются: выброс кадмия в сточные воды, производство и использование фосфатных удобрений, сжигание отходов, угля, бензина и т.д. Дополнительным источником поступления кадмия в организм являются курение и пищевые продукты, содержащие кадмий. Кадмий очень медленно выводится из организма: период его полувыведения из организма человека составляет около 25–30 лет.

Таблица 1.5

Экологическая характеристика основных источников загрязнения биосферы

Загрязнитель	Экологическая характеристика
Углекислый газ	Образуется при сгорании всех видов топлива. Увеличение его содержания в атмосфере приводит к повышению её температуры
Оксись углерода	Образуется при неполном сгорании топлива. Нарушает тепловой баланс верхней атмосферы. Обуславливает кислородную недостаточность
Сернистый газ	Содержится в дымовых промышленных предприятиях. Вызывает обострение респираторных заболеваний
Окислы азота	Создают смог, вызывают респираторные заболевания и бронхит
Нитраты и нитриты	Содержатся в азотных удобрениях. Высокие концентрации в пищевых продуктах и питьевой воде вызывают изменения структуры гемоглобина
Фосфаты	Содержится в удобрениях. Один из основных загрязнителей водоёмов
Ртуть	Один из опасных загрязнителей пищевых продуктов, поражает нервную систему
Свинец	Добавляется в бензин, действует на ферментные системы и обмен веществ в живых клетках, вызывает анемию и психические расстройства
Нефть	Приводит к пагубным экологическим последствиям, вызывает гибель планктона, рыб, морских птиц и млекопитающих
Полициклические ароматические углеводороды	Образуются при неполном сгорании древесины, угля, нефтепродуктов, инициируют развитие раковых опухолей
Хлорорганические пестициды	Растворяются в жировых тканях организмов и биоаккумулируют в трофических цепях, оказывая токсическое воздействие на биоту и человека
Полихлорированные бифенилы, дибензодиоксины и дибензофураны	Накапливаются в биотических и абиотических компонентах природной среды; обладая свойствами политропных гормоноподобных экосистемных ядов, оказывают выраженное и продолжительное воздействие на многие компоненты экосистем
Радиация	При повышении допустимых доз приводит к злокачественным образованиям и генетическим мутациям

К характерным болезням горожан, связанных с поступлением кадмия, относят гипертонию, ишемическую болезнь сердца, почечную недостаточность, заболевания дыхательной системы, дисфункцию половых органов, нарушение нервной системы, поражение опорно-двигательного аппарата, снижение иммунного статуса. Массовые хронические поражения людей (в форме болезни «итай-итай») – японский эквивалент междометия «ох-ох») имели место в Японии среди населения, употреблявшего заражённую кадмием воду, которая использовалась для ирригации рисовых полей. Название болезни происходит от нестерпимых костных болей в спине и ногах, сопровождающих инициируемых кадмием процесс декальцификации скелета вследствие нарушения фосфорно-кальциевого обмена.

Загрязнение кадмием атмосферного воздуха, почвы, воды, продуктов питания в результате производственной деятельности неуклонно возрастает. Его вредоносные эффекты (от гипертонии до канцерогенеза) наряду с широким и всё возрастающим использованием и накоплением в окружающей среде позволяет полагать, что этот металл в качестве экополлютанта представляет для человечества одну из наибольших опасностей.

Широчайшее использование *свинца* в хозяйственной деятельности (производство аккумуляторных батарей, резины, пластмасс, красителей, добавок к бензину, полиграфическая промышленность и пр.) приводит к постепенному накоплению металла в окружающей среде. В настоящее время мировая продукция свинца составляет около 9 млн т/год. Свинец содержится в различных средах (почве, воздухе, водоёмах и питьевой воде) и в продуктах питания (молочных и мучных изделиях, мясе, рыбе и пр.).

Острые отравления свинцом встречаются редко. Основную опасность представляет хроническое воздействие соединений свинца на население через заражённый воздух, воду, почву и пищу. Воздействие свинца и его соединений на человека приводит к патологии нервной и эндокринной систем, нарушению репродуктивных функций, поражению почек, гематологическим и сердечно-сосудистым нарушениям.

В прежние века свинец являлся доминирующей причиной хронических отравлений. По мнению некоторых специалистов, ухудшение здоровья населения Римской империи во многом свя-

зано с хронической интоксикацией свинцом, широко применявшимся для изготовления водопроводов и посуды.

Ртуть нашла применение в электронной промышленности, производстве фунгицидов и пр. Ранее эпидемии отравлений ртутью (меркуриоз) имели место на целлюлозно-бумажном производстве; в настоящее время использование в пищу зерна, обработанного ртутными фунгицидами, потребление рыбы, выловленной в водоёмах, заражённых ртутью, – основные причины массовых отравлений.

Наиболее известным случаем массового отравления ртутью является заболевание, вызванное употреблением в пищу рыбы, отравленной метилртутью, у побережья в бухте Минамата (Япония). Было зарегистрировано 292 случая болезни, из которых 62 со смертельным исходом. Впоследствии эта форма заболевания получила название «болезнь Минамата».

Вещества, содержащие *мышьяк*, используются в металлургической промышленности, применяются в качестве пестицидов и пр. При отравлении мышьяком наблюдается поражение желудочно-кишечного тракта, системы крови, почек, печени, нервной системы. Описаны случаи массового заболевания раком кожи у жителей провинции Кордоба в Аргентине и на острове Тайвань, где население в течение многих лет использовало воду с высоким содержанием мышьяка. В Японии в 1972 г. более 12 тыс. детей получили отравление консервированным молоком, заражённым мышьяком.

Полициклические ароматические углеводороды. Соединения этой группы встречаются во всех сферах окружающей человека среды. Они образуются в результате вулканической деятельности, в процессе нефте-, угле- и сланцеобразования и сгорания различных горючих материалов. Индикаторное значение для всех полициклических ароматических углеводородов имеет бензапирен, являющийся наиболее стабильным, биологически активным и всегда находящимся там, где присутствуют другие представители группы. В большинстве промышленных центров России среднегодовая концентрация бензапирена в воздухе превышает нормативные показатели в несколько раз. Эколого-эпидемиологические исследования, проведённые в различных странах мира, свидетельствуют о причинно-следственной связи воздействия бензапи-

рена и увеличения показателей смертности и заболеваемости населения раком лёгких.

Хлорорганические соединения (прежде всего полихлорированные бифенилы, фураны, диоксиноподобные соединения, хлорорганические пестициды). К основным источникам загрязнения относятся: термическое разложение различных химических продуктов, металлургическая промышленность, выхлопные газы автомобилей, лесные пожары, производство некоторых видов продукции. Соединения данной группы относятся к группе стойких органических загрязнителей, обладающих способностью аккумулироваться в экосистемах и пищевых цепях. Они обладают ярко выраженными канцерогенными и мутагенными свойствами, способны вызывать нарушения репродуктивного здоровья, эндокринной системы, нервно-психического развития детей.

Наиболее масштабные случаи эколого-зависимых заболеваний, связанных с попаданием в окружающую среду полихлорированных бифенилов и фуранов, имели место в Японии (1968 г.), когда после употребления в пищу зараженного поллютантом рисового масла пострадало около 2 тыс. человек. Эта форма отравления в дальнейшем получила название «болезнь Ю-Шо».

Широкий спектр негативных последствий для здоровья человека и окружающей его природной среды от воздействия диоксиноподобных соединений, наряду со всё возрастающим накоплением их в окружающей среде и частыми случаями массовых отравлений, позволяет рассматривать соединения данного ряда в качестве наиболее опасных экополлютантов. Химически инертные и устойчивые к биологической трансформации диоксины поступают в окружающую среду из многих источников, в том числе из продуктов и отходов химической, целлюлозно-бумажной и металлургической промышленности, продуктов сжигания промышленных отходов, городского мусора, бензинового и дизельного топлива. Диоксины отличаются высокой устойчивостью, способностью к глобальным перемещениям в природной среде и накоплению в её различных абиотических и биотических компонентах, миграция по пищевым цепям с эффектом биологического умножения (период полураспада наиболее токсичного в абиотических компонентах окружающей среды достигает нескольких десятилетий, а период полувыведения из организма человека – до 32 лет).

В организм человека диоксины могут поступать всеми известными путями и передаваться плоду с молоком матери. Диоксины, обладая свойствами политропных гормоноподобных ядов, инициируют у человека и животных формирование множества клеточных, тканевых и системных ответов, которые в настоящее время объединены в понятие «диоксиновая патология».

Высокая медицинская и социальная значимость диоксиновой патологии определяется постепенным формированием разнообразных многоуровневых отдалённых медицинских последствий экспозиции, обусловленных их генотоксичным, канцерогенным, тератогенным, иммунотоксическим и эндокринотоксическим воздействиями, составляющими основу поражающего действия этих соединений на здоровье и качество жизни населения.

История знакомства человечества с диоксинами восходит к тридцатым годам прошлого столетия, когда развитие широкомасштабного производства и применение полихлорфенолов привели к массовому профессиональному заболеванию – хлоранке (рецидивирующее воспаление сальных желез). Во второй половине 20-го столетия было зарегистрировано более 200 аварий и инцидентов на предприятиях по производству хлорированных фенолов, при которых отмечался выброс в атмосферу диоксинов. Самая крупная из них – авария в г. Севезо (Италия, 1976 г), в результате которой пострадало около 500 человек.

Ярким примером неблагоприятного воздействия диоксина на здоровье человека и состояние экосистем являются целенаправленные действия армии США по разрушению живой природы Вьетнама. В ходе многолетней операции 1962-1971 гг. над различными регионами Южного Вьетнама было распылено свыше 90 тыс. т гербицидных препаратов, содержащих до 750 кг диоксина (более миллиарда смертельных доз для приматов). Многочисленные случаи прямых контактов местного населения с гербицидами (от прямого воздействия пострадало свыше 4,8 млн вьетнамских крестьян) привели к формированию первичных медицинских последствий острой интоксикации и постепенному развитию отдалённых медицинских последствий острой и хронической экспозиции. Обширное (свыше 2,2 млн га) загрязнение территорий принципиально изменило облик и состав наземных и водных экосистем. Так, на месте мандровых лесов образовались безжизненные пустоши, произошла

деградация экосистем коралловых рифов. В очагах первичного и вторичного загрязнения снизились численность и разнообразие биологических видов, изменились популяционные показатели. Деградация экосистем и перестройка биогеоценозов на обработанных территориях сформировали новые химические, биологические, экологические и социальные факторы риска для здоровья населения.

Учитывая высокую опасность хлорорганических соединений для здоровья человека и состояния экосистем, межгосударственной Стокгольмской конвенцией предусмотрено принятие мер по ликвидации производства и использования ряда стойких органических загрязнителей (12 веществ), из числа хлорорганических пестицидов, полихлордибензодиоксинов и дибензофуранов.

Основные источники и виды загрязнения атмосферного воздуха. Естественное загрязнение воздуха происходит в результате извержения вулканов, вследствие пыльных бурь, лесных пожаров и пр. Антропогенные факторы определяют существенные изменения в химическом составе атмосферы, причём как в самых нижних, так и высоких её слоях. Имеется множество источников антропогенного загрязнения атмосферного воздуха (см. табл. 1.4). Для каждой территории характерен свой, обусловленный специфической территориальной хозяйственной деятельностью, набор поллютантов. В связи с этим спектр заболеваний, возникающих в популяции вследствие загрязнения атмосферного воздуха, крайне разнообразен.

Наиболее часто встречающиеся неблагоприятные последствия загрязнения атмосферного воздуха для здоровья человека – заболевания органов дыхания, сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта, болезни крови и органов кроветворения, кожи, нервной и эндокринной системы, новообразования, аллергозы, врождённые пороки развития, осложнения беременности и родов, бесплодие и другие нарушения репродуктивной функции.

Наиболее масштабные загрязнения атмосферного воздуха обусловлены функционированием транспорта и индустрии. Например, на долю транспорта в США приходится в среднем 60 % общего количества загрязнений, поступающих в атмосферу; вклад про-

мышленности составляет 17 %, энергетики – 14 %, отопления и уничтожения отходов – 9 %.

Степень загрязнения атмосферного воздуха оценивают по содержанию канцерогенных и неканцерогенных веществ.

Канцерогенные вещества подразделяют на четыре группы.

Первая группа – химические соединения, в отношении которых имеются надёжные эпидемиологические данные их канцерогенной опасности для человека (бензол, винилхлорид, хром, асбест, мышьяк, кадмий, диоксины, никель, бериллий).

Вторая группа – вещества, в отношении которых имеются ограниченные доказательства их канцерогенной опасности для человека (бензапирен, формальдегид, 1,3-бутадиен, акрилонитрил, тетрахлор-этилен, трихлорэтилен, эпихлоргидрин) и животных (гексахлоран, гидразин и т.д.).

Третья группа – не классифицируемые как канцерогены для человека.

Четвёртая группа – химические соединения, в отношении которых имеется доказательство их неканцерогенности для человека.

В группу канцерогенных веществ, присутствующих в атмосферном воздухе городов, входят поллютанты, поступающие в воздух преимущественно с выхлопными газами автотранспорта (бензапирен, бензол, формальдегид), или в результате функционирования промышленных предприятий (кадмий, никель, хром, мышьяк, асбест, винилхлорид, диоксины).

В группу неканцерогенных загрязнителей входят взвешенные вещества, диоксиды азота и серы, оксид углерода и озон. Уровень содержания этих поллютантов в атмосферном воздухе во многом определяет степень опасности загрязнения атмосферного воздуха в крупных городах. В атмосферном воздухе присутствуют также специфические неорганические загрязнители: медь, ртуть, свинец, сероводород, сероуглерод, фтористые и ряд других химических соединений.

Неканцерогенные вещества вызывают широкий спектр нарушения здоровья человека, которые можно рассматривать как разные формы проявления токсических эффектов, регистрируемых на молекулярном, клеточном, тканевом, органном и популяционном уровнях.

Загрязнение атмосферного воздуха в целом по городам России является причиной примерно 40 тыс. дополнительных смертей в год. Эти данные близки к результатам исследований по определению воздействия загрязнённого воздуха на здоровье населения в странах Западной Европы.

Взвешенные частицы. К настоящему времени достоверно установлено, что повышение содержания взвешенных частиц в атмосферном воздухе оказывает негативное влияние на здоровье человека: от роста случаев заболеваемости органов дыхания до увеличения смертности, связанной с заболеваниями органов дыхания и сердечно-сосудистой системы. В среднем, каждый человек, проживающий в городе с очень высоким уровнем загрязнения воздуха взвешенными частицами, теряет приблизительно 4 года жизни.

Под взвешенными частицами понимают, прежде всего, твёрдые частички, присутствующие в воздухе; атмосферные аэрозоли, непосредственно поступающие в воздух; твёрдые вещества, образующиеся в процессе химического превращения газов. Сжигание угля, нефти, бензина приводит к образованию крупных взвешенных частиц (летучая зола). Мелкие частицы образуются вследствие конденсации веществ, испаряющихся при горении. Существует принципиальное различие в механизмах и степени воздействия на организм частиц разного размера. В табл. 1.6 представлены данные, характеризующие влияние размеров взвешенных частиц на их способность проникать в дыхательные пути человека.

Таблица 1.6

**Проникающая способность взвешенных частиц
в зависимости от их размеров**

Размер частиц, мкм	Проникающая способность
≥ 11	Практически не проникают
7–11	Накапливаются в носовой полости
4,7–7,0	Проникают в горло
3,3–4,7	Проникают в трахею и первичные бронхи
2,1–3,3	Проникают во вторичные бронхи
1,1–2,1	Накапливаются в глубокой части бронхов
0,65–1,10	Проникают в бронхиолы
0,43–0,065	Проникают в альвеолы лёгких

Главные источники суммарных антропогенных выбросов взвешенных частиц диаметром менее 10 мкм – автомобильный транспорт (10–25 %), сжигание топлива на стационарных установках (40–55 %) и технологические процессы в промышленности (15–30 %).

Взвешенные частицы могут образовывать *смог* – смесь дыма, пыли и загрязняющих веществ (соединений тяжёлых металлов, оксидов серы, азота и углерода), концентрирующаяся в нижних слоях атмосферы и образующая туманную завесу. В зависимости от особенностей климатических условий различают два типа смога: лондонский и лос-анджелесский.

Лондонский (зимний) смог – сочетание газообразных поллютантов (в основном сернистого ангидрида), пылевых частиц и капель тумана, образующихся в крупных промышленных центрах при отсутствии ветра и температурной инверсии.

Лос-анджелесский (летний, фотохимический) смог представляет собой вторичное, кумулятивное загрязнение воздуха, возникающее в результате разложения загрязняющих веществ солнечными лучами. При отсутствии ветра и температурной инверсии, под действием солнечной радиации образуются дополнительные высокотоксичные загрязнители – фотооксиданты, состоящие из озона, органических пероксидов и других веществ.

Загрязнение атмосферы оксидами азота, серы и летучими органическими соединениями является источником образования *кислотных дождей*, удаляемых из атмосферы с осадками. Из всего количества кислот, выпадающих на территорию Центральной Европы, в среднем 2/3 приходится на серную и 1/3 на азотную кислоту.

В общем виде характер действия химических загрязнителей атмосферного воздуха на организм человека по времени воздействия и форме проявления эффекта классифицируют на острое, хроническое действие и отдалённые медицинские последствия.

Характерные признаки острого действия – высокий уровень обращаемости за медицинской помощью по поводу резкого ухудшения состояния здоровья, избыточная смертность среди населения, ограниченность во времени возникновения указанных явлений (3–10 дней). Острое действие атмосферных поллютантов провоцируется резким изменением погодных условий на конкретной террито-

рии, а также авариями на промышленных предприятиях или очистных сооружениях.

Хроническое действие загрязнителей атмосферного воздуха на здоровье населения – основной вид их негативного влияния. Выделяют хроническое специфическое действие, когда конкретный загрязнитель играет роль этиологического фактора в развитии заболевания (рака лёгких, аллергозов, бронхиальной астмы и др.), и хроническое неспецифическое (провоцирующие) действие, в реализации которого участвуют вещества, относящиеся к различным химическим классам и не обладающие выраженным специфическим эффектом.

К отдалённым медицинским эффектам относят генотоксическое, канцерогенное, тератогенное, эмбриотоксическое, иммунотоксическое, эндокринотоксическое действие и пр.

Для того чтобы защитить население от неблагоприятного воздействия выбросов химических веществ и влияния других вредных факторов опасных промышленных объектов, организуют санитарно-защитные зоны, в пределах которых запрещается размещение коллективных или индивидуальных дачных и садово-огородных участков, предприятий по производству лекарственных препаратов, пищевой промышленности.

Помимо загрязнения атмосферного воздуха на здоровье человека негативное влияние оказывает загрязнение воздуха жилых помещений. В них основными источниками загрязнения являются взвешенные частицы (атмосферный воздух, камины, обогреватели, угольные и дровяные печи, табачный дым), окиси азота углерода (газовые плиты, обогреватели, атмосферный воздух), летучие органические соединения (полимерные строительные и отделочные материалы, мебель, ковровые покрытия, средства по уходу за домом, табачный дым, средства личной гигиены, горячая хлорированная вода), строительные полимерные материалы в административных помещениях.

Присутствие в воздухе жилых помещений, а также в домашней пыли большого количества микрочлещей, плесневых грибов и их спор, шерсти домашних животных, существенно повышает риск формирования аллергических заболеваний.

Химическая нагрузка от экологически вредных веществ, присутствующих в воздухе помещений, составляет: 50–70 % (у детей),

70–80 % (у работающих взрослых) и 90 % (у пенсионеров) от общей химической нагрузки среды обитания.

Комплекс факторов, обусловленных высокой загрязнённостью воздуха помещений и связанных с этим изменением здоровья получил название «синдром больных зданий». Его проявления неспецифичны: раздражение кожи, слизистых глаз и носа, головная боль и головокружение, слабость, тошнота. Этот синдром может формироваться и проявляться при нахождении в 30 % новых и реконструированных зданий.

Основные источники и виды загрязнения почв. Загрязнение почвы связано с химическим загрязнением атмосферы и вод. В неё попадают твёрдые и жидкие промышленные, сельскохозяйственные и бытовые отходы. Основное поступление химических веществ из почвы в организм человека происходит по экологическим путям миграции: почва – растения – человек; почва – растения – животные – человек; почва – вода – человек; почва – атмосферный воздух – человек.

Опасность загрязнения почв как фактор риска для здоровья населения определяется в первую очередь её функциональным использованием. Например, для почв сельскохозяйственного назначения наибольшую опасность представляют переход загрязняющих веществ в выращиваемые культуры и поступление загрязнителей в местные источники питьевого водоснабжения.

Источником антропогенного загрязнения почв служат различные объекты производственной и бытовой деятельности человека (см. табл. 1.4).

В среднем по России до 17 % проб почв не соответствуют гигиеническим требованиям по микробиологическим показателям, а 20 % исследованных образцов почв не отвечают санитарно-гигиеническим нормативам; из них в 3 % проб отмечается повышенное содержание пестицидов, в 16 % – тяжёлых металлов. Загрязнение почвы диоксинами зафиксировано в городах, где размещаются предприятия хлорной промышленности. Одной из главных экологических проблем России, связанных с загрязнением почв, является загрязнение нефтью и нефтепродуктами.

Загрязнение почв тяжёлыми металлами происходит за счёт выпадения их из атмосферы (в виде твёрдых и жидких осадков), вы-

броса из отвалов рудников или металлургических предприятий водными или воздушными потоками, внесения высоких доз органических, минеральных удобрений и пестицидов, содержащих тяжёлые металлы.

Загрязнение почвы тяжёлыми металлами в первую очередь сказывается на здоровье детей, так как интенсивное накопление токсичных агентов происходит ещё в плаценте. Это приводит к появлению врождённых уродств, снижению иммунитета, развитию хронических заболеваний различных органов и систем, задержке умственного и физического развития.

Повышенное или пониженное содержание в почве эссенциальных микроэлементов становится причиной микроэлементозов (иначе – болезней «биогеохимических провинций»). Термин «биогеохимическая провинция» разработан советским учёным А.П. Виноградовым для обозначения местности, характеризующейся повышенным или пониженным содержанием одного или нескольких химических элементов в почве.

Так, вследствие дефицита селена в почве и пищевых продуктах развивается патология сердечной мышцы; вследствие дефицита йода – недостаточность щитовидной железы. Избыток молибдена провоцирует формирование эндемической молибденовой подагры. Повышенное поступление в организм стронция и урана приводит к угнетению синтеза протромбина в печени, вытеснению кальция из костной ткани и развитию стронциевого рахита; повышенное содержание меди – к поражению печени и почек, никеля – заболеваниям кожи, цинка – поражению почек.

Ряд промышленных регионов с особо интенсивным загрязнением окружающей среды (например, Чернобыльская зона) являются зонами выраженных техногенных микроэлементозов. На территории России имеется ряд геохимических провинций, с повышенным содержанием в почве тяжёлых металлов, в частности – свинца (Горный Алтай, Чукотка, Приморье), ртути (Восточное Забайкалье, Читинская обл.).

Пестициды – собирательный термин, охватывающий химические соединения различного строения, применяемые для борьбы с вредными организмами в сельском хозяйстве, промышленности, здравоохранении. В отличие от других поллютантов, пестициды вносятся человеком в окружающую среду умышленно с целью

уничтожения некоторые виды живых организмов. В этой связи наиболее желательное свойство пестицидов – избирательность их действия в отношении организмов-мишеней. Однако селективность действия подавляющего большинства пестицидов не является абсолютной, поэтому многие вещества представляют большую или меньшую опасность для человека.

Следует отметить, что пестициды разрабатывались без учёта экологических последствий их применения. Опасность пестицидов состоит в том, что они распространяются далеко за пределы тех агросистем, где они применяются. Основной риск, связанный с использованием пестицидов, обусловлен их накоплением в окружающей среде и биоте, перемещением по пищевым цепям.

Поскольку организмы «вредителей» адаптируются к действию химических веществ, во всем мире постоянно синтезируются и внедряются в практику десятки и сотни новых пестицидов, что, естественно, осложняет экологическую обстановку.

Большой ущерб почве наносят антропогенные кислотные загрязнения, изменяющие буферную ёмкость почвы.

Одной из существенных проблем, связанных с загрязнением почвы, являются отходы производства и потребления. *Отходы производства* – остатки сырья, материалов, химические соединения, образовавшиеся при производстве продукции и утратившие исходные потребительские свойства. *Отходы потребления* – изделия и материалы, утратившие свои потребительские свойства в результате физического или морального износа.

По агрегатному состоянию отходы классифицируются на жидкие, твёрдые и газообразные, а по происхождению – на бытовые (коммунальные), промышленные, сельскохозяйственные, строительные.

С точки зрения экологической безопасности все отходы дифференцируют на токсичные (содержащие тяжёлые металлы, радиоактивные изотопы); потенциально-токсичные (способные при переработке генерировать токсичные вещества, загрязняющие окружающую среду); нетоксичные (биологически инертные) и пищевые.

Наиболее серьёзные экологические проблемы связаны с твёрдыми бытовыми и радиоактивными отходами.

К твёрдым бытовым отходам (мусору) относят смесь веществ и материалов, образующихся в результате жизнедеятельности населения, которые необходимо утилизировать или уничтожить как бесполезные, нежелательные или опасные. По своему составу они неоднородны и включают макулатуру (2–5 % и более), пищевые отходы (20–40 %), пластмассу (1–5 %), стекло (4–6 %), текстиль (4–6 %) и пр. Объём твёрдых бытовых отходов по России составляет около 130 млн м³. Количество мусора, образующееся в некоторых развитых странах мира, на душу населения составляет от 200 до 700 кг в год.

Твёрдые бытовые отходы, складываемые вокруг городов в виде свалок, представляют потенциальную опасность для здоровья населения, являясь источником загрязнения подземных вод и распространения инфекций. Спустя год после начала складирования отходов на свалке начинается интенсивное выделение биогаза, на 54 % состоящего из метана и на 46 % из диоксида углерода, что в определённой мере обуславливает их огнеопасность.

Основные источники и виды загрязнения гидросферы. Гидросфера служит естественным аккумулятором большинства загрязняющих веществ, поступающих непосредственно в атмосферу или литосферу. Это связано с наличием глобального цикла круговорота воды в природе и способностью воды растворять газы и минеральные соли, смывать с суши твёрдые частицы. Кроме того, вода, в силу своего широкого использования в промышленности, сельском хозяйстве и быту, помимо непосредственного естественного загрязнения микроэлементами и микроорганизмами, подвержена и антропогенному загрязнению. Микробное и химическое загрязнение питьевой воды является причиной возникновения различных инфекционно-паразитарных (холера, брюшной тиф, дизентерия, вирусный гепатит) заболеваний.

Наиболее существенные медико-экологические проблемы, связанные с загрязнением водной среды, – эвтрофикация, закисление, загрязнение токсичными химикатами.

Эвтрофикация – накопление в водах биогенных элементов под воздействием антропогенных или природных факторов.

Основные источники загрязнения водной среды биогенными веществами – смывы азотных и фосфорных удобрений с полей,

приводящие к развитию цветения воды, появлению анаэробных зон, нарушению структуры биоценозов и исчезновению многих видов гидробионтов.

При цветении сине-зелёных водорослей цианобактерий в пресноводных водоёмах образуются токсины (токсичные полипептиды и белки природного происхождения). Токсины сине-зелёных водорослей являются причиной гаффской болезни – эпидемии, которая в двадцатые годы прошлого века распространилась на побережье опреснённого залива Балтийского моря. Болезнь поражала рыбаков, занимавшихся промыслом в заливе, и характеризовалась внезапно наступающими острыми мышечными болями при малейших движениях или прикосновении к конечностям, в результате чего больные теряли способность к передвижению. В настоящее время распространение токсигенных цианобактерий приобретает глобальный характер.

Закисление (ацидофикация) водоёмов – экологическое изменение природных вод, влекущее за собой экологический регресс (уменьшение видового разнообразия и устойчивости к внешним возмущениям).

Все химические вещества, присутствующие в питьевой воде, дифференцируют на три группы.

К первой относят эссенциальные, т.е. жизненно необходимые элементы. Отклонение от нормального уровня поступления этих веществ в организм, может приводить к развитию микроэлементозов, причинами которых служат недостаток, избыток или дисбаланс микроэлементов, поступающих в организм с водой. Вторую группу составляют наиболее опасные для человека канцерогенные вещества, тяжёлые металлы, хлорорганические соединения. К третьей относят нефтепродукты, синтетические поверхностно активные вещества, пестициды, нитраты и другие широко распространённые поллютанты.

Нефть и *нефтепродукты* являются наиболее распространёнными поллютантами, загрязняющими природную среду. На долю нефтяных разливов приходится до 30 % общего загрязнения гидросферы. Нефтепродукты попадают в гидросферу при транспортировке и добыче на шельфе. При попадании нефти в море на поверхности воды образуется плёнка, в которой аккумулируются ионы тяжёлых металлов и хлорированные углеводороды.

Нефть, её пары, газы и продукты переработки инициируют у населения хроническую патологию с полисиндромными проявлениями заболевания, особенности которого связаны, прежде всего, с химическим составом нефти. Наблюдаемые функциональные нарушения со стороны нервной, сердечно-сосудистой, пищеварительной систем трактуются или как состояния предболезни, или как неспецифические реактивные изменения, требующие усиленного врачебного контроля.

Синтетические поверхностно-активные вещества (или детергенты) – вещества, способные адсорбироваться на поверхности раздела фаз и, вследствие этого, понижать их поверхностную энергию. Широкое применение этих веществ обусловлено их технико-экономической эффективностью и успехами современной синтетической химии. Характерным признаком присутствия детергентов в воде является слой пены, скапливающейся в местах, где течение рек задерживается перегородивающимися устройствами (плотины, шлюзы и пр.). Присутствие поверхностно-активных веществ в воде обуславливает так называемый эффект перераспределения, суть которого заключается в концентрации большого количества загрязняющих веществ и патогенных микроорганизмов. При этом многие вещества становятся существенно более токсичными.

Нитраты. Содержание нитратных ионов в природных водах в естественных условиях связано с внутриводоемными процессами нитрификации аммонийных ионов в присутствии кислорода под действием нитрифицирующих бактерий. Антропогенное загрязнение нитратами связано с загрязнением промышленных, хозяйственно-бытовых и сельскохозяйственных сточных вод. Попавшие в организм нитраты и нитриты превращаются в соединения, препятствующие утилизации кислорода. В результате формируется состояние кислородного голодания (гипоксия).

Приято считать, что в промышленно развитых регионах на долю промышленных сточных вод приходится 70-80 %, примерно 20 % на коммунальные (хозяйственно-бытовые) стоки, остальное падает на долю сельскохозяйственных стоков.

Основные источники и виды загрязнения продуктов питания. Ксенобиотики поступают в продукты питания в результате: использования технологий получения продуктов с помощью хими-

ческого, микробиологического синтеза и генной инженерии; широкого употребления пищевых добавок; использования несоответствующего упаковочного материала; несоблюдения условий хранения продуктов.

Безотносительно причины, в продуктах питания могут накапливаться микотоксины, соли тяжёлых металлов, канцерогены, нитросоединения, стойкие органические загрязнители.

Химическое строение и биологическая активность *микотоксинов* чрезвычайно разнообразны. С практической точки зрения наибольший интерес представляют токсины, продуцируемые микроскопическими грибами, способные заражать пищевые продукты (злаковые и бобовые). Многие из них вызывают мутагенное, тератогенное и канцерогенное действие.

Так, в Алтайском крае (1980–1990 гг.) имели место массовые случаи поражения новорожденных желтухой, инициированной употреблением в пищу муки и круп, заражённых, в результате неправильного хранения, микотоксином Т-2 и тяжёлыми металлами.

Большая часть многих токсичных веществ поступает в организм человека вместе с пищевыми продуктами. С позиций экологической эпидемиологии, необходимость оценки качества и стандартизации пищевых продуктов на содержание в них загрязняющих веществ обуславливается тем, что их повышенная концентрация в пищевых продуктах может оказывать негативное влияние на здоровье населения.

Следствием биологического загрязнения пищевых продуктов является развитие инфекционных заболеваний (желудочно-кишечные инфекции) и пищевых токсикоинфекций. Спектр возможного патогенного воздействия ксенобиотиков, поступающих в организм с пищей, очень широк. Они могут неблагоприятно влиять на пищеварение и усвоение пищевых веществ, понижать иммуннозащитные силы организма, ускорять процессы старения и нарушать репродуктивные функции.

В результате антропогенного загрязнения окружающей среды возможны следующие последствия:

- полное разрушение экосистемы в результате выпадения целостной интактной структуры (биотопа) и её функции (биоценоза). Пример: уничтожение мангровых лесов в результате

применения американской армией гербицидов в качестве химического оружия во Вьетнаме;

- глубокие изменения биотопа. Пример: засоление пресноводных биотопов, ухудшение состояния лесов;
- постоянное загрязнение биотопов. Пример: эвтрофикация рек и озёр в результате попадания в них значительных количеств растворённых и связанных соединений азота и фосфора;
- массивные загрязнения. Пример: загрязнения водных бассейнов нефтью при аварийных ситуациях;
- широко распространившееся уменьшение видовой разнообразия организмов. Пример: использование пестицидов и удобрений в агроэкосистемах;
- направленное уничтожение отдельных видов растений и животных. Пример: гербицидные и инсектицидные мероприятия.

Среди действий по стабилизации и улучшению экологической обстановки особое место отводится экологическому мониторингу, основными задачами которого являются информационное обеспечение и поддержка процедур принятия решения в области природоохранной деятельности и экологической безопасности,

Система экологического мониторинга реализуется на нескольких уровнях: локальном, региональном и глобальном.

В соответствии с возложенными на систему функциями экологический мониторинг включает три основных направления деятельности:

- 1) наблюдения за факторами воздействия и состоянием окружающей среды;
- 2) оценку состояния окружающей среды;
- 3) прогноз состояния окружающей природной среды.

1.3. Экотоксикология. Основные понятия и категории

Антропогенное загрязнение окружающей среды – наиболее негативное последствие развития человеческой цивилизации. Изучение эффектов химических веществ на популяции организмов и биоценозы стало предметом отдельной науки – экологической токсикологии (экотоксикологии).

Экотоксикология является междисциплинарным научным направлением, связанным с токсическими эффектами химических веществ на живые организмы, преимущественно на популяции организмов и биоценозы, входящие в состав экосистем. Она изучает источники поступления вредных веществ в окружающую среду, их распространение в этой среде, действие на живые организмы.

В современном понимании яд (синоним токсикант) – это химическое вещество, способное в определенном количестве и определенных условиях среды обитания оказывать повреждающее действие на живые организмы вплоть до их гибели.

При действии на биологические системы немеханическим путём токсичность характеризует свойство химических соединений вызывать их повреждение или гибель, а применительно к организму человека – вызывать нарушения обмена веществ и физиологических функций, ведущие к развитию заболевания или гибели.

Экологическая токсикология оценивает потенциальную опасность контакта популяций живых организмов с ксенобиотиками или эссенциальными веществами, поступающими в избыточных количествах, и обосновывает мероприятия, направленные на предупреждение или максимальное снижение негативных последствий такого взаимодействия.

Предметом экологической токсикологии являются биологические системы надорганизменного уровня в условиях химической нагрузки естественного и антропогенного происхождения.

Особенность экотоксикологии – исследование поведения токсикантов в отдельных компонентах биоты, их фиксации, деструкции в природных системах и, следовательно, оценка уровней поступления в живые организмы. Последнее обстоятельство особо важно, поскольку условия существования и функционирования природных популяций и биоценозов могут выступать в качестве модифицирующего фактора, усиливающего или ослабляющего прямое токсическое влияние.

Основные направления экотоксикологии – идентификация загрязняющих веществ в экосистеме, изучение эффектов воздействия поллютантов на видовом и популяционном уровнях, исследование миграции поллютантов в экосистеме, изучение комбинированных эффектов воздействия поллютантов на окружающую среду и раз-

работка мероприятий, направленных на улучшение состояния биосферы и здоровья населения.

Экотоксичность как способность определённого ксенобиотического профиля среды обитания вызывать неблагоприятные эффекты в соответствующем биоценозе является основным понятием экотоксикологии.

Учитывая то, что термин «экотоксикология» используется преимущественно для обозначения суммы знаний, касающихся эффектов химических соединений на экосистемы, в последние десятилетия в рамках экотоксикологии, в качестве самостоятельного направления, происходит формирование дисциплины, получившей название *токсикология окружающей среды* (environmental toxicology), исследующей механизмы развития и проявления воздействия токсикантов окружающей среды на человека.

Экотоксикология и токсикология окружающей среды оперируют уже устоявшимися категориями и понятиями классической токсикологии и применяют, как правило, её традиционную экспериментальную, клиническую и эпидемиологическую методологию. Также используется понятийный и методологический аппарат экологии, исследующей взаимоотношения между живыми организмами и средой их обитания.

При эколого-токсикологической оценке тех или иных химических соединений учитывают оценку опасности загрязнения ими экосистемы и возможность изменения ксенобиотического профиля окружающей среды, вследствие избыточного накопления в ней одного или нескольких экополлютантов.

Экополлютант, накопившийся в окружающей среде в количестве, достаточном для инициации токсического процесса в биоценозе (на любом уровне организации живой материи), может быть обозначен как экотоксикант. Токсическое действие экотоксикантов, регистрируемое на уровне популяций и биогеоценозов, может быть обозначено как экотоксическое.

При оценке экотоксичности одного вещества в отношении представителей только одного вида живых существ, в полной мере могут быть использованы количественные характеристики, принятые в классической токсикологии (дозы и концентрации, вызывающие определённые виды эффектов их соотношения и т.д.).

Количество вещества, попавшее во внутренние среды организма и вызвавшее токсический эффект, называется *токсической дозой D*, которая выражается в единицах массы токсиканта на единицу массы организма (мг/кг).

Количество вещества, находящееся в единице объёма (массы) некоего объекта окружающей среды (воды, воздуха, почвы), при контакте с которым развивается токсический эффект, называется *токсической концентрацией C*. Токсическая концентрация выражается в единицах массы токсиканта на единицу объёма среды (воздуха, воды), мг/л; г/м³, или единицу массы среды (почвы, продовольствия), мг/кг.

В более сложных системах экотоксичность количественно измерить невозможно. Для её характеристики используют ряд качественных или полуколичественных показателей, в основе которых лежат такие понятия, как «экотоксическая опасность», «экологический риск» и др.

Экотоксическая опасность химических соединений – это потенциальная способность вещества вызывать повреждение биологических систем при попадании в окружающую среду.

Источники поступления поллютантов в окружающую среду классифицируют на естественные (природные) и антропогенные. В качестве возможных путей поступления вредных веществ в окружающую среду рассматриваются диффузные источники, непрерывное поступление со сточными водами и дымовыми газами, разовые поступления при авариях.

Многочисленные абиотические и биотические процессы в окружающей среде направлены на элиминацию (удаление) экополлютантов. По этой причине большинство ксенобиотиков, попав в воздух, почву или воду не вызывают заметных изменений в экосистемах, поскольку время их воздействия ничтожно мало. Вещества, стойкие к процессам разрушения и, вследствие этого, длительно пребывающие в окружающей среде, как правило, являются потенциально опасными экотоксикантами. К их числу относятся тяжёлые металлы, углеводороды, некоторые хлорорганические пестициды, а также другие вещества.

Подавляющее большинство химических соединений подвергается в окружающей среде превращениям, прежде всего, за счёт фотоллиза (разрушение химических связей под влиянием света), гид-

ролиза и окисления. В результате химических реакций экотоксиканты трансформируются, как правило, с образованием нетоксичных веществ. Однако в ряде случаев токсичность вновь образующихся веществ может повышаться. Подобные превращения получили название «летального синтеза».

Абиотическое разрушение химических поллютантов происходит с низкими скоростями. Значительно быстрее деградируют ксенобиотики в результате ферментативных реакций при участии биоты (главным образом бактерий и грибов). Процессы биотрансформации экотоксикантов при этом завершаются их полной минерализацией с образованием двуокиси углерода и других простых химических соединений. Однако, как и в случае абиотических превращений, возможно образование промежуточных продуктов биотрансформации, протекающей по типу реакций «летального синтеза».

Так, превращение неорганических соединений ртути фитопланктоном может привести к образованию более токсичных ртутьорганических соединений, в частности метилртути. Подобное явление отмечено в Японии на берегах бухты Минамато в 1950–1960 гг., когда поступающая в залив со сточными водами от завода по производству азотных соединений ртуть, трансформировалась биотой в метилртуть. В результате биоаккумуляции в тканях рыбы, служившей пищей местному населению, произошло массовое отравление метилртутью, закончившееся смертью для трети пострадавших (болезнь минамата).

К процессам элиминации, не связанным с биотическим и абиотическим разрушением экополлютантов, относятся физико-химические процессы (испарение, сорбция и пр.), протекающие в окружающей среде. Так, за счёт процессов испарения летучие экотоксиканты из почвы и водоёмов одного региона с потоком воздуха способны рассеиваться, перемещаясь в другие регионы. Полициклические ароматические углеводороды (бензапирен и ему подобные) активно включаются в биосферный круговорот веществ, переходя из одной среды в другую с потоком воздуха за счёт сорбции на поверхности взвешенных атмосферных частиц.

Перераспределению водно-растворимых веществ способствуют дожди и движение грунтовых вод. Сорбция веществ на взвешенных

частицах в воде, с последующим осаждением, приводит к их элиминации из толщи воды и накоплению в донных отложениях.

Одним из механизмов элиминации экополлютантов является биоаккумуляция – процесс, посредством которого живые организмы накапливают токсиканты, извлекая их из абиотической фазы (воды, почвы, воздуха) и пищи (трофическая передача).

Результатом биоаккумуляции – негативные последствия как для самого организма, так и для организмов, использующих данный биологический вид в качестве пищи.

Степень накопления вещества в организме, в конечном счете, определяется его содержанием в окружающей среде. Вещества, быстро элиминирующиеся, в целом плохо накапливаются в организме. Наибольшей способностью к биоаккумуляции обладают жирорастворимые ксенобиотики, медленно метаболизирующиеся в организме и депонируемые жировой тканью. Так, например, через 15 лет после применения гербицидов армией США во время войны во Вьетнаме содержание диоксина в жировой ткани жителей зараженных районов было в 3–4 раза выше, чем у жителей Европы и США.

Стойкие экополлютанты передаются потомству с молоком кормящей матери, при этом у детей возможно развитие патологических эффектов, не проявлявшихся ранее у родителей. Экотоксиканты способны перемещаться и по пищевым цепям от организмов-жертв к консументам (организмам, потребляющим готовые органические вещества).

Для липидофильных соединений это перемещение может сопровождаться увеличением концентрации токсиканта в тканях каждого последующего организма – звена пищевой цепи. Этот феномен называется биомагнификацией. Так, для борьбы с переносчиком «голландской болезни» вязовым заболонником, поражающей вязы, деревья обрабатывали препаратом ДДТ. Часть пестицида попадала в почву, где он аккумулировался в ткани дождевых червей. У перелётных дроздов, поедающих дождевых червей, развивалось отравление пестицидом: часть из них погибала, у других нарушалась репродуктивная функция. В результате борьба с заболеванием деревьев привела к почти полному исчезновению перелётных дроздов в ряде регионов США.

При оценке потенциальной опасности экотоксикантов особое место занимает анализ путей поступления химических веществ в организм. При определении приоритетных путей поступления токсичных веществ в организм оцениваются вероятность накопления вещества в организме и развитие токсического эффекта при том или ином пути поступления токсиканта в организм.

Основными путями поступления экотоксикантов в организм являются ингаляционный (вдыхание газов, аэрозолей и твёрдых частиц), алиментарный (поступление токсичных компонентов вместе с водой и пищевыми продуктами), резорбтивный (проникновение токсичных соединений через кожу и слизистые). Анализ риска предполагает учёт и более сложных взаимосвязей между объектами окружающей среды и путями поступления вредных веществ в организм, показанных в табл. 1.7.

Механизмы, посредством которых экополлютанты могут вызывать неблагоприятные эффекты в биогеоценозах, многочисленны и в каждом конкретном случае уникальны. Выделяют прямое, опосредованное и смешанное токсическое действие экотоксикантов.

Прямой механизм токсического действия – это непосредственное поражение организмов определённой популяции или нескольких популяций (биоценоза) экотоксикантами данного ксенобиотического профиля среды. Примером веществ с подобным механизмом действия на человека является кадмий – металл, который накапливается в организме даже при минимальном его содержании в окружающей среде и при достижении критической концентрации инициирует токсический процесс, проявляющийся поражением дыхательной системы, почек и т.д.

Опосредованный механизм токсического действия – действие ксенобиотического профиля на биотические или абиотические элементы среды обитания популяции, в результате которого условия и ресурсы среды перестают быть оптимальными для её существования.

При смешанном механизме действия экотоксиканты способны оказывать как прямое, так и опосредованное действие. Примером веществ, обладающих смешанным механизмом действия, являются в частности гербициды, содержащие в качестве примеси небольшое количество диоксина. Так, широкое использование этих веществ американской армией во Вьетнаме нанесло значительный ущерб

растительному, животному миру страны и непосредственно здоровью людей.

Формирование и развитие реакций биосистемы на действие токсиканта, приводящих к её повреждению или гибели называется токсическим процессом. Токсические процессы дифференцируют на пороговые и беспороговые. Для токсических процессов, формирующихся по пороговому принципу, причинно-следственная связь между фактом действия вещества и развитием токсического процесса носит безусловный характер.

В качестве порога вредного действия принято считать такое количество вещества, при воздействии которого (при конкретных условиях поступления в организм) возникают изменения, выходящие за пределы физиологических приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология. При действии веществ в дозах ниже определённых уровней токсический процесс не развивается; при достижении определённой дозы процесс развивается непременно.

Зависимость «доза – эффект» прослеживается на уровне каждого отдельного организма, при этом чем больше доза, тем значительнее проявления токсического процесса. К этой группе относятся: интоксикации, транзиторные токсические реакции, некоторые аллобиотические состояния (например, повышенная чувствительность к инфекции).

Для токсических процессов, развивающихся по беспороговому принципу, причинно-следственные связи между фактом действия вещества и развитием токсического процесса носят вероятностный характер. Вероятность формирования токсического эффекта сохраняется при действии на организм даже одной молекулы токсиканта. Вместе с тем у отдельных организмов токсический процесс может и не развиваться, несмотря на значительное увеличение дозы вещества. Дозовая зависимость выраженности повреждающего действия, как правило, прослеживается на уровне популяции – чем больше доза, тем у большей части особей испытываемой группы регистрируется эффект. К таким токсическим процессам относятся: некоторые аллобиотические состояния, токсические процессы (канцерогенез, мутагенез и др.).

Таблица 1.7

**Пути поступления и экотоксикантов в организм человека
во взаимосвязи с объектами среды**

Пути поступления и воздействия	Объект среды обитания		
	воздух (взвешенные частицы и газы)	почва (поверхностный и корневой слой)	поверхностные и грунтовые воды
Ингаляционный	Газы и взвешенные частицы атмосферного воздуха; газы и взвешенные частицы из атмосферного воздуха в помещениях	Почвенные испарения, проникающие в воздух помещения; частицы почвы, перенесённые в воздух помещений	Загрязняющие вещества, перенесённые из водопроводной воды
Алиментарный	Фрукты, овощи и злаки, в ткани которых из воздуха перенесены загрязняющие вещества; мясо, молоко, яйца с загрязняющими веществами, перенесёнными животными из воздуха; материнское молоко	Проникновение почвенных частиц; фрукты, овощи и злаки с загрязнением от почвы; мясо, молоко, яйца с загрязняющими веществами, перенесёнными животными из почвы; материнское молоко	Водопроводная вода; фрукты, овощи и злаки с загрязняющими веществами от полива; мясо, молоко, яйца с загрязняющими веществами, перенесёнными животными из воды; рыба и морские продукты; -поверхностные воды при попадании при купании и отдыхе на воде; материнское молоко
Резорбтивный		Кожный контакт с почвой	Кожный контакт при купании, принятии ванн и душа

В соответствии с представлением об уровнях организации биологических систем в экологии принято выделять разделы, описывающие экологические эффекты на уровне организма, популяции и биоценоза (соответственно аутоэкологию, демэкологию и синэкологию). В этой связи и неблагоприятные экотоксические эффекты дифференцируют так:

- *аутэкоотоксические*:
 - а) токсический процесс на клеточном уровне проявляется обратимыми структурно-функциональными изменениями клетки, мутациями, преждевременной гибелью клетки;
 - б) токсический процесс со стороны органа или системы проявляется функциональными реакциями (спазм гортани, кратковременное падение артериального давления, учащение дыхания и т.д.), заболеваниями органа, неопластическими процессами (опухоли);
 - в) токсический процесс на уровне целостного организма проявляться болезнями химической этиологии (интоксикации, отравления), транзиторными токсическими реакциями (быстро и самопроизвольно проходящими состояниями, сопровождающимися кратковременной утратой дееспособности (например, раздражение слизистых глаз и дыхательных путей и т.д.), аллобиозом (стойкими изменениями реактивности организма на воздействие физических, химических, биологических факторов окружающей среды в виде аллергии, иммуносупрессии, постинтоксикационной астении, «доклинических» форм патологии и т.д.), специальными формами токсического процесса (канцерогенез, эмбриотоксичность, нарушение репродуктивных функций и т.д.), развивающимися лишь у части популяции и характеризующимися продолжительным скрытым периодом.
- *демэкоотоксические*: токсический процесс на уровне популяции сопровождается:
 - а) ростом заболеваемости, смертности, врождённых дефектов развития;
 - б) уменьшением рождаемости, нарушением демографических характеристик популяции (соотношение возрастов, полов и т.д.);
 - в) падением средней продолжительности жизни членов популяции, гибелью популяции.
- *синэкоотоксические*, связанные с изменением популяционного спектра биоценоза, вплоть до исчезновения отдельных видов и появления новых, не свойственных данному биоценозу, нарушением межвидовых взаимоотношений.

В зависимости от продолжительности действия экотоксикантов на экосистему выделяют острую и хроническую экотоксичность.

Острая экотоксичность развивается в результате однократного или повторного действия токсиканта в течение ограниченного периода времени (как правило, до нескольких суток) и является следствием аварий и (или) катастроф, сопровождающихся выходом в окружающую среду большого количества относительно нестойкого экополлютанта.

Примером острой экотоксичности может служить авария, произошедшая в 1984 г. в Индии на заводе по производству пестицидов, когда в атмосферу попало большое количество метилизоцианата. Отравлению подверглись около 200 тыс. человек, из которых 3 тыс. погибли вследствие остро развившегося отёка лёгких.

Другой случай острой экотоксичности имел место в Ираке, когда обработанное в целях борьбы с вредителями метилртутью посевное зерно случайно попало в продажу и была использована для выпечки хлеба. В результате этой экологической катастрофы отравление получили более 6,5 тыс. человек, из которых около 500 погибло.

Хроническая экотоксичность, развивающаяся в результате продолжительного (иногда годы) действия токсиканта, как правило, ассоциируется с сублетальными эффектами и характеризуется нарушением репродуктивных функций, иммунными сдвигами, эндокринной патологией, пороками развития, аллергизацией и другими проявлениями отдалённых медицинских последствий. Примером хронической экотоксичности может служить широкомасштабное химическое уничтожение экологических систем и загрязнение природной среды диоксинсодержащими экотоксикантами в ходе американской агрессии во Вьетнаме.

Результаты токсикометрических исследований в медицинской практике используют для разработки системы нормативных и правовых актов, обеспечивающих химическую безопасность населения; оценки риска действия ксенобиотиков в условиях производства, экологических и бытовых контактов с токсикантами; сравнительной оценки эффективности средств и методов обеспечения химической безопасности населения.

Одна из сложнейших практических задач экотоксикометрии – определение количественных параметров, при которых экополлю-

тант трансформируется в экотоксикант. При её решении необходимо учитывать, что в реальных условиях на биоценоз действует весь ксенобиотический профиль среды, модифицируя при этом биологическую активность отдельного поллютанта. Поэтому в разных регионах количественные параметры трансформации поллютанта в экотоксикант различны.

Основной мерой экспозиции экополлютанотов является доза, характеризующая то количество вещества, которое воздействует на организм при ингаляции загрязнённого им воздуха, поглощении загрязнённой им воды или пищи, контакте с ним кожи. В американской литературе используется соответствующий термин «*potential dose*» (потенциальная доза), в некоторых международных документах – «*intake*», а применительно к токсикологическим экспериментам на животных – «*administered dose*» (назначенная, введённая доза).

В экотоксикологических исследованиях рассчитывают также переносимые дозы (в американской литературе – *referense dose* – *RfD*, в международных документах – *tolerable intake* – *IT*) – такие дозы, при действии которых на человеческую популяцию, включая её наиболее чувствительные подгруппы, не ожидается риска развития каких бы то ни было уловимых вредных эффектов на протяжении всего периода жизни.

Острая токсичность экополлютанотов определяется экспериментально на нескольких видах живых организмов, являющихся представителями различных уровней трофической организации в экосистеме (водоросли, растения, беспозвоночные, рыбы, птицы, млекопитающие). При этом рассчитываются значения медианно-эффективных доз (концентраций) – количество вещества, вызывающее определённый эффект (смертельный, пороговый и пр.) у 50 % подопытных объектов, а также другие показатели токсичности, характеризующие частичный (минимальный или максимальный) эффект.

Зависимость «доза – эффект» («доза – ответ») в идеале выражается как уравнение регрессии, связывающее дозу (концентрацию) токсичного вещества либо с ожидаемой частотой того или иного нарушения здоровья, характерного для эффектов действия данного вещества, либо с частотой госпитализации по поводу определённого заболевания, либо со смертностью и т.п. Подобного

рода подход к оценке риска хорошо разработан для многих экополлютантов.

Закономерности «доза (концентрация) – ответ» чаще всего выявляются в токсикологических экспериментах. Экстраполяция их с группы животных на человеческую популяцию связана с большим числом неопределённостей. Закономерности «доза – ответ», обоснованные эпидемиологическими данными, могут быть более надёжными, но и они имеют свои источники неопределенности.

Специфическим методом экотоксикометрии является метод оценки экологического риска как процесс определения вероятности развития неблагоприятных эффектов со стороны биогеоценозов (включая популяции человека) в результате изменений различных характеристик среды. Важный элемент оценки экологического риска – выявление опасности, связанной с возможным массивным воздействием на среду различных химических веществ (изменение естественного ксенобиотического профиля среды) и определением вероятности такого воздействия.

Поведение поллютантов в окружающей среде обусловлено достаточно сложными закономерностями, и точное прогнозирование их влияния на организм человека весьма затруднительно. В большинстве случаев для того, чтобы предсказать поведение токсикантов, делают упрощающие предположения.

Дозозависимые реакции организма обычно определяются экспериментально на уровне достаточно высоких доз, а оценка реального уровня загрязнения осуществляется методом экстраполяции. В то же время знание о характере поведения таких веществ на уровне малых и сверхмалых доз часто является не результатом научного доказательства, а следствием принятия той или иной научно-теоретической концепции.

В значительной степени токсикология окружающей среды основана на предположении о том, что токсичность поллютантов с низким уровнем концентрации прямо пропорциональна этой концентрации. Предполагается также, что чем продолжительнее контакт токсиканта с биологическим объектом, тем вероятнее токсический эффект.

Для практического применения системы оценки риска наиболее часто используют линейные (1.1) или экспоненциальные (1.2) модели:

$$R = UR \cdot C \cdot t ; \quad (1.1)$$

$$R = [1 - \exp(-UR \cdot C \cdot t)], \quad (1.2)$$

где R – риск возникновения неблагоприятного эффекта, определяемый как вероятность возникновения этого эффекта при заданных условиях; C – реальная концентрация или доза вещества, оказывающая воздействие за время t ; UR – единица риска, определяемая как коэффициент пропорции роста риска в зависимости от значения действующей дозы (концентрации).

1.4. Вопросы радиационной экологии. Радиобиология среды обитания

Радиация – понятие обобщённое. Оно включает различные виды излучений, часть которых встречается в природе, другие получаются искусственным путем. *Ионизирующее излучение* – любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков.

Одним из источников ионизирующих излучений является *радионуклид* – атомное ядро, способное к радиоактивному распаду.

Виды ионизирующего излучения:

- *альфа-излучение* представляет собой ядра гелия, которые испускаются при радиоактивном распаде элементов тяжелее свинца или образуются в ядерных реакциях;

- *бета-излучение* – электроны или позитроны, образующиеся при бета-распаде различных элементов от самых легких (нейтрон) до самых тяжелых;

- *космическое излучение* приходит на Землю из космоса. В его состав входят преимущественно протоны и ядра гелия. Проникая вглубь атмосферы, первичное космическое излучение взаимодействует с ядрами, входящими в состав атмосферы, и образует потоки вторичных частиц (мезоны, гамма-кванты, нейтроны и др.);

- *нейтроны* образуются в ядерных реакциях (в ядерных реакторах и на других промышленных и исследовательских установках, а также при ядерных взрывах).

- *Продукты деления* содержатся в радиоактивных отходах переработанного топлива ядерных реакторов;

- *протоны, ионы* в основном получают на ускорителях;
- *электромагнитное излучение* имеет различные источники: гамма-излучение атомных ядер и тормозное излучение ускоренных электронов, радиоволны.

Явление радиоактивности было открыто в 1896 г. французским ученым А. Беккерелем. В настоящее время оно широко используется в науке, технике, медицине, промышленности. Радиоактивные элементы естественного происхождения присутствуют повсюду в окружающей человека среде. Искусственные радионуклиды образуются на промышленных предприятиях и в атомной отрасли. Попадая в окружающую среду, они оказывают негативные воздействия на живые организмы, в чем и заключается их опасность.

Способность ядер самопроизвольно распадаться, испуская частицы, называется *радиоактивностью*. *Радиоактивный распад* – статистический процесс, и его закономерность наблюдается в случае распада достаточного большого количества ядер. Закон радиоактивного распада выражает убывание числа радиоактивных ядер N за время t :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (1.3)$$

где N_0 – количество радиоактивных ядер в момент времени $t = 0$; λ – постоянная распада, характеризующая вероятность распада на один атом за единицу времени.

Период полураспада $T_{1/2}$ – время, за которое первоначальное количество радиоактивных ядер уменьшается в два раза. Периоды полураспада изменяются в широком диапазоне от нескольких миллисекунд до 10^{16} лет.

Под активностью радионуклида понимается отношение ожидаемого числа dN спонтанных ядерных превращений, происходящих за интервал времени dt , к величине этого интервала:

$$A = \frac{dN}{dt}. \quad (1.4)$$

Единицей активности является беккерель (Бк): 1 Бк = 1 распад/с, внесистемной единицей – кюри (Ки): 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. Отношение активности радионуклида к массе, объёму, площади источника на-

зывается удельной, объёмной, поверхностной активностью радионуклида соответственно.

Действие ионизирующих излучений. В результате воздействия ионизирующего излучения на организм человека в тканях могут происходить сложные физические, химические и биологические процессы. Мерой этого радиационного воздействия служит *поглощённая доза* – отношение средней энергии, переданной веществу ионизирующим излучением в элементарном объёме, к массе вещества в этом объёме. Единицей поглощённой дозы является грей (Гр), внесистемной единицей – рад ($1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$).

Для оценки биологического эффекта воздействия излучения произвольного состава потребовалось введение новой характеристики – эквивалентной дозы, учитывающей различные виды излучения в индуцировании биологических эффектов. Единица измерения эквивалентной дозы – зиверт (Зв), внесистемная единица – бэр ($1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$).

В качестве меры риска возникновения отдалённых последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учётом их радиочувствительности введена эффективная доза, измеряемая в зивертах.

Эквивалентная (эффективная) доза, как мера ожидаемого эффекта облучения для конкретного организма, является индивидуальной. Для оценки эффекта при облучении больших групп людей или целых популяций используется понятие коллективной дозы, равной сумме индивидуальных доз. Единица коллективной эквивалентной дозы – человеко-зиверт (чел.-Зв).

Для оценки полного радиационного воздействия от долгоживущих радионуклидов используется понятие ожидаемой коллективной дозы, которая определяется как доза от какого-либо радиоактивного источника за всё время его существования или определённый длительный промежуток времени.

Виды ионизирующего излучения значительно разнятся по своему действию на окружающие объекты. Альфа-излучение имеет малую длину пробега частиц и характеризуется слабой проникающей способностью. Пробег альфа-частиц с энергией 4 МэВ в воздухе составляет 2,5 см, а в биологической ткани лишь 31 мкм, поэтому α -частицы не могут проникнуть сквозь кожные покровы. Но альфа-излучающие нуклиды представляют серьёзную опасность

при попадании внутрь организма через органы дыхания и пищеварения, открытые раны и ожоговые поверхности.

Бета-излучение обладает большей проникающей способностью. Пробег бета-частиц в воздухе может достигать нескольких метров, а в биологической ткани – нескольких сантиметров. Так, пробег электронов с энергией 4 МэВ в воздухе составляет 17,8 м, а в биологической ткани – 2,6 см.

Гамма-излучение имеет ещё более высокую проникающую способность, пробеги фотонов в воздухе измеряются уже километрами. Под действием гамма-излучения происходит облучение всего организма.

Биологический эффект от действия тепловых нейтронов в основном обусловлен двумя реакциями: $\text{H}(n, \gamma)^2\text{H}$ и $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$. Основной эффект воздействия на биологическую ткань происходит под действием протонов, образующихся в результате реакции (n, p) и теряющих всю свою энергию в месте рождения.

Для быстрых нейтронов решающее значение имеет рассеяние нейтронов на протонах. Дальнейшее выделение энергии происходит в результате ионизации среды протонами отдачи.

Действия излучения на организм имеет следующие особенности:

- высокая эффективность поглощённой энергии (малые количества поглощённой энергии излучения могут вызвать глубокие биологические изменения в организме);
- наличие скрытого проявления действия ионизирующего излучения (этот период часто называют периодом мнимого благополучия, продолжительность которого сокращается при больших дозах облучения);
- действие от малых доз может суммироваться или накапливаться (эффект кумуляции);
- излучение воздействует не только на данный живой организм (соматический эффект), но и на его потомство (генетический эффект);
- различные органы живого организма имеют свою чувствительность к облучению;
- не каждый организм в целом одинаково реагирует на облучение, что проявляется лишь при небольших поглощённых дозах

(чем моложе человек, тем выше его чувствительность к облучению, особенно высока она у детей);

- облучение зависит от частоты: одноразовое (острое) облучение в большой дозе вызывает более глубокие последствия, чем фракционированное;

- радиационное воздействие на организм активизирует защитные системы (репарации, адаптации).

При попадании радиоактивных веществ внутрь организма поражающее действие оказывают в основном альфа-частицы, а затем бета-частицы и гамма-излучение, т.е. в обратной последовательности по отношению к внешнему облучению.

Степень опасности существенно зависит от скорости выведения радиоактивного вещества из организма. Продолжительное время удерживаются в организме элементы с большим атомным номером (полоний, уран и др.). Элементы, образующие в организме легко-растворимые соли и накапливаемые в мягких тканях, достаточно легко удаляются из организма.

Если обозначить за T_6 период биологического полувыведения радионуклида из организма, то можно ввести эффективный период полувыведения, учитывающий радиоактивный распад и биологическое выведение:

$$T_{\text{эф}} = \frac{T_{1/2} \cdot T_6}{T_{1/2} + T_6}, \quad (1.5)$$

который отличается широким разнообразием: от нескольких часов (^{24}Na , ^{64}Cu) и дней (^{131}I , ^{32}P) до десятков лет (^{226}Ra , ^{90}Sr).

В табл. 1.8 приведены значения доз (ЛД₅₀) для различных организмов, при облучении которыми 50 % особей погибает.

Наблюдается следующая закономерность: чем сложнее биологическая организация, тем ниже летальное значение дозы. Обращает на себя внимание низкое значение летальной дозы для хвойных деревьев.

Отмечена стимуляция организмов внешним воздействием малых доз, благоприятное действие. Такое явление получило название *гормезиса*.

Основу системы радиационной безопасности составляют современные международные научные рекомендации, которые надёжно

гарантируют безопасность людей, работающих с источниками излучения и всего населения.

В соответствии с действующими нормами эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) – 1000 мЗв, а для населения за 70-летний период жизни – 70 мЗв.

Для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующего излучения искусственного или природного происхождения в России введены нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.

Нормы распространяются на следующие виды воздействия ионизирующего излучения на человека:

- в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников излучения;
- в результате радиационной аварии;
- от природных источников излучения;
- при медицинском облучении.

Таблица 1.8

Летальные дозы LD_{50} общего острого облучения

Тип организмов	Средние дозы, Гр
Вирусы, бактерии	5000
Простейшие	2000
Водоросли	1000
Низшие растения	600
Древесные растения	400
Хвойные деревья	8
Кишечнополостные	1500
Насекомые	1500
Черви	1000
Моллюски	500
Рептилии	25
Рыбы	30
Птицы	12
Млекопитающие	8
Человек	3,5

Радиоактивность окружающей среды

Жизнь на Земле возникла и продолжает развиваться в условиях постоянного облучения. Радиационный фон Земли (рис. 1.1) складывается из трёх компонентов:

- 1) космического излучения;
- 2) излучения от рассеянных в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды природных радионуклидов;
- 3) излучения от искусственных (техногенных) радионуклидов.

Облучение источниками ионизирующего излучения делится на внешнее и внутреннее. Внешнее облучение обусловлено источни-

ками, расположенными вне тела человека. Источниками внешнего облучения являются космическое излучение и наземные источники.

Источники внутреннего облучения – радионуклиды, попадающие в организм человека. Основную часть облучения организмы получают от естественных источников, содержащихся в атмосфере, земной коре, воде и биоте.

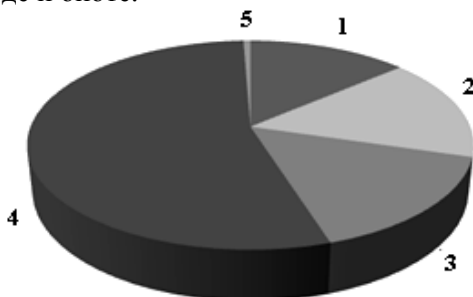


Рис. 1.1. Распределение дозовой нагрузки на население от естественных источников излучений:

1 – космическое излучение (13,7 %); 2 – внешнее облучение (15,9 %); 3 – внутреннее облучение (15,5 %); 4 – радон (54,3 %); 5 – прочее (0,6 %)

Космическое излучение

Космическое излучение складывается из частиц, захваченных магнитным полем Земли, галактического космического излучения и корпускулярного излучения Солнца. В его состав входят протоны, альфа-частицы, ядра лёгких элементов, имеющие очень большие энергии. Это так называемое первичное космическое излучение, взаимодействуя с атмосферой Земли, порождает вторичное излучение.

Основная часть ионизирующей компоненты вторичного космического излучения – электроны, образующиеся при взаимодействии с воздухом и распаде мюонов. На уровне моря в воздухе создаются приблизительно 2,1 пары ионов/(см³·с), что соответствует 240 мкЗв/год.

Другим источником вторичной компоненты являются нейтроны. Средняя плотность потока нейтронов составляет 130 нейтр./(м²·с) и определяет мощность эквивалентной дозы 65 мкЗв/год для широты местности 40–50°.

Величина мощности дозы космического излучения сильно зависит от солнечной активности, широты местности и высоты над земной поверхностью. Среднее значение годовой дозы от космического излучения на уровне моря составляет 0,4 мЗв, а на высоте 4 км, где на склонах Эвереста расположена деревня шерпов, уже 1,8 мЗв/год.

К дополнительному облучению приводят авиаперелёты. Коллективная эффективная доза от авиаперевозок достигает 10^4 чел.-Зв, что составляет в мире на душу населения в среднем 1 мкЗв/год, а для Северной Америки около 10 мкЗв/год.

Под влиянием космических лучей в результате ядерных реакций, идущих в атмосфере, образуются радиоактивные ядра – космогенные радионуклиды. Среди них наибольшую радиэкологическую значимость имеют тритий ^3H и радиоуглерод ^{14}C , поступающие с пищей в организм человека. Эти радионуклиды, накапливаясь в органах и тканях, становятся источником длительного внутреннего облучения. Характер его зависит от физико-химических свойств радионуклидов, среди них особое место занимает ^{14}C , поскольку является изотопом основного биогенного элемента. Биологическое действие его связывают не только с радиационными, но и трансмутационными эффектами, ведущими к неустранимым организмом мутациям.

Взрослый человек потребляет с пищей не менее 95 кг углерода в год при средней удельной активности углерода 230 Бк/кг. Воздействию радионуклида ^{14}C подвергаются все представители растительного и животного мира. Отсутствие явного генетического нарушения в результате облучения естественным радиоуглеродом доказывает выработку в ходе эволюции защитных механизмов.

Суммарный вклад всех космогенных радионуклидов в индивидуальную дозу в среднем составляет 10 мкЗв/год.

Внешнее облучение от радионуклидов земного происхождения

В настоящее время на Земле сохранилось 23 долгоживущих радиоактивных элемента с периодами полураспада от 10^7 лет и выше. В почве присутствуют такие долгоживущие радионуклиды, как ^{40}K , ^{87}Rb , ^{238}U , ^{232}Th и др.

Последние два радионуклида – «родоначальники» радиоактивных рядов. Всего имеется три радиоактивных семейства: урана-радия (^{238}U), тория (^{232}Th) и актиния (^{235}U), в которых в результате распада постоянно образуются радиоактивные изотопы.

Подвижность многих дочерних радионуклидов в земной коре значительна, и поэтому эти радионуклиды оказываются вездесущими и в рассеянном состоянии присутствуют практически всюду. Особенно велика роль в радиационном воздействии на человека входящего в этот ряд радона ^{222}Rn .

Средняя эффективная эквивалентная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников, составляет около 0,48 мЗв. Однако уровень земной радиации неодинаков в различных районах. Например, в 200 км к северу от города Сан-Паулу (Бразилия) есть небольшая возвышенность, где уровень радиации в 800 раз превосходит средний и достигает 260 мЗв в год.

В целом, более 95 % населения мира живут в местах с дозой облучения от 0,3 до 0,6 мЗв в год, 3 % населения получают в среднем 1 мЗв в год, а для 1,5 % населения доза – 1,4 мЗв в год.

Человек, находящийся в помещении, защищён от внешнего излучения самим зданием, но, с другой стороны, подвергается облучению за счёт естественных радионуклидов, находящихся в материалах, из которого построено это здание. В зависимости от концентрации изотопов ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th в строительных материалах мощность дозы в домах изменяется от $4 \cdot 10^{-8}$ до $12 \cdot 10^{-8}$ Гр/ч. В среднем, в кирпичных, каменных и бетонных зданиях мощность дозы в 2–3 раза выше, чем в деревянных.

Внутреннее облучение радионуклидов земного происхождения

В организме человека постоянно присутствуют радионуклиды земного происхождения, поступающие через органы дыхания и пищеварения. Наибольший вклад в формирование дозы внутреннего облучения вносят ^{40}K , ^{87}Rb и радионуклиды рядов ^{238}U и ^{232}Th .

Средняя доза внутреннего облучения за счёт радионуклидов земного происхождения составляет 1,35 мЗв/год. Наибольший вклад (75 % годовой дозы) дают не имеющий вкуса и запаха тяжёлый газ радон и продукты его распада. Поступив в организм при

вдохе, он вызывает облучение слизистых тканей лёгких продуктами своего распада.

Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрация в наружном воздухе существенно различается для различных участков земного шара. Однако большую часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом непроветриваемом помещении, в котором источниками радона являются строительные материалы. Большой удельной активностью обладают гранит, пемза, шлак и ряд других материалов. Радон также проникает в помещение из земли через различные трещины в межэтажных перекрытиях и вентиляционные каналы.

Вклад в дозу внутреннего облучения вносят удобрения. Ежегодно используется несколько десятков миллионов тонн фосфатов, содержащих большую концентрацию урана. Содержащиеся в удобрениях радионуклиды поступают из почвы в пищевые продукты, приводят к повышению радиоактивности молока и других продуктов питания.

Суммарная доза внешнего и внутреннего облучения от естественных источников радиации в среднем равна 2 мЗв в год, а для отдельных контингентов населения она может превышать средний уровень на порядок и более.

Техногенная радиоактивность

В результате деятельности человека в окружающей среде появились искусственные радионуклиды и источники излучения. Основные физические процессы, в результате которых образуются искусственные радионуклиды, – это ядерное деление, синтез и нейтронная активация. Кроме того, в природную среду стали поступать в больших количествах естественные радионуклиды, извлекаемые из недр земли вместе с углем, газом, нефтью, минеральными удобрениями.

В настоящее время основной вклад в дозу от источников, созданных человеком, вносит радиоактивное облучение при медицинской диагностике и лечении. Средняя годовая индивидуальная доза составляет 0,4 мЗв.

Отметим некоторые закономерности, которые характерны при использовании ионизирующих излучений в медицине:

- частота использования излучений в диагностике превышает частоту в терапии почти в 500 раз, так что вклад терапии в дозовую нагрузку пренебрежимо мал;
- доля рентгенодиагностики составляет 78 % от полного числа процедур, доля стоматологии и ядерной медицины – 21 и 1 % соответственно;
- использование радиации в медицине в значительной мере зависит от уровня здравоохранения в стране (для разных стран мира отличие по частоте использования отличается до 1500 раз, а по дозовой нагрузке – до 300).

Глобальные выпадения и биосферный перенос

При испытании ядерного оружия огромное количество радиоактивных веществ уносится в атмосферу. Важную роль играет антропогенный ^{14}C , который образуется подобно природному. Количество радионуклида зависит от типа бомбы (атомная или термоядерная), её конструкции и мощности. Подсчитано, что со времени взрыва первой атомной бомбы в 1945-м до 1980 г. образовалось 249,2 ПБк ^{14}C .

За время интенсивных испытаний ядерного оружия содержание ^{14}C в растительных продуктах, молоке, мясе повысилось примерно в два раза по сравнению с природным фоном.

С 1981 г. испытания ядерного оружия в атмосфере прекратились, и предприятия ядерно-топливного цикла оказались единственным мощным источником антропогенного ^{14}C , способным заметно повышать концентрацию в биосфере Земли. Этот нуклид образуется в активной зоне атомных реакторов любого типа, где существуют мощные потоки нейтронов, которые взаимодействуют с материалами конструкций реактора, с веществом теплоносителя, замедлителя, топлива и имеющимися в них примесями.

Радиоуглерод очень подвижен и с мест выбросов в результате атмосферных процессов переносится на большие расстояния и, окисляясь до $^{14}\text{CO}_2$, вступает в естественный круговорот углерода, а затем по пищевым цепочкам поступает животным и человеку.

Испытания ядерного оружия в атмосфере стали одной из основных причин повышения радиационного фона Земли и, как следствие этого, глобального повышения доз внешнего и внутреннего облучений населения.

По оценкам, во второй половине XX в. за счёт ядерных испытаний во внешнюю среду поступило $1,81 \cdot 10^{21}$ Бк продуктов ядерного деления. Продукты ядерного деления (ПЯД) представляют собой сложную смесь более чем 200 радиоактивных изотопов.

Радиоактивные продукты удаляются из атмосферы главным образом вымыванием с помощью осадков и последующего выпадения вещества на поверхность земли. Выпавшие радиоактивные вещества могут приводить к внешнему облучению, а также включаться в пищевые цепи.

Суммарная ожидаемая коллективная эффективная доза от всех испытаний, произведенных к настоящему времени, составит в будущем около 30 млн чел.-Зв. К 1980 г. человечество получило лишь 12 % этой дозы. Из этой суммарной дозы основной вклад дадут следующие радионуклиды: ^{14}C – 69 % общей дозы; ^{137}Cs – 14 %; ^{95}Zr – 5,3 %; ^{90}Sr – 3,2 %; ^{106}Ru – 2,2 %; ^{144}Ce – 1,4 %; ^3H – 1,2 %; ^{131}I – 0,9 % (рис. 1.2).

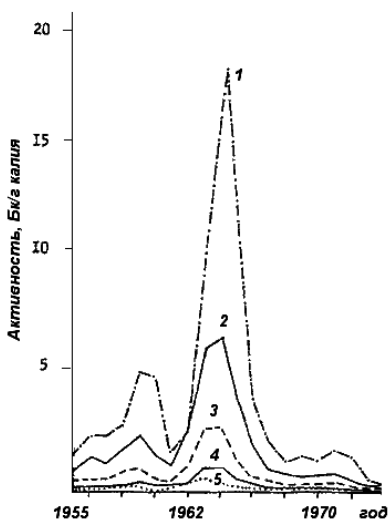


Рис. 1.2. Изменение содержания ^{137}Cs в различных продуктах питания:
 1 — зерновые продукты;
 2 — мясо; 3 — молоко;
 4 — фрукты; 5 — овощи

Средний уровень современного глобального загрязнения по ^{137}Cs составляет $0,08 \text{ Ки/км}^2$, а по ^{90}Sr – $0,045 \text{ Ки/км}^2$. Для сравнения в результате Чернобыльской аварии площадь районов с загрязнением более 40 Ки/км^2 составила 7000 км^2 , а в локальных точках – до 200 Ки/км^2 . Критическими радионуклидами загрязнения являются цезий (79,3 %), стронций (19,8 %) и плутоний (0,9 %).

При выбросах антропогенных радионуклидов их дальнейшее поведение проявляется в биогеохимических процессах. Радионуклиды попадают в наземные экосистемы из атмосферы, через поверхностные воды или из грунтовых вод. Большое значение имеют пути миграции

радионуклидов в пресных водах, особенно в озерах, так как эти экосистемы особенно чувствительны к загрязнению.

Перенос радионуклидов из атмосферы на растительность включает в себя процессы выпадения, поглощения и удержания. Существуют два способа поглощения радионуклидов растениями – листовой и корнями. Эффективность этих процессов определяется временем нахождения загрязняющего вещества на поверхности растения и способностью корней различных видов растений поглощать из раствора разные радионуклиды. После поглощения радионуклиды могут переместиться выше или ниже точки проникновения.

Перенос радионуклидов с пастбища в организм животного и включение их в метаболизм оцениваются коэффициентом переноса «растение – животное», который определяется как отношение концентрации радионуклида в мясе или молоке к суточному потреблению корма.

Облучение, обусловленное технологически повышенным радиационным фоном

В настоящее время уголь является наиболее важным в мире горючим ископаемым. Ежегодно сжигается несколько миллиардов тонн угля и около 70 % используется для производства энергии. Например, в золе угля содержание естественных радионуклидов возрастает примерно на порядок вследствие исключения органического компонента при его сжигании.

Попадая в атмосферу вместе с золой, естественные радионуклиды становятся источниками дополнительного облучения населения, проживающего в районе расположения ТЭС за счет ингаляционного поступления, а выпадающие на поверхность радионуклиды поступают в организм человека с пищевыми продуктами, вдыхаемым воздухом и питьевой водой.

Большая часть мировых запасов нефти приурочена к богатым органическим веществом глинистым сланцам. Благодаря присутствию урансодержащих фосфатов концентрация урана в них достигает 1000 г/т и более. Нефть и газ поступают из пробуренных скважин с примесью растворенных солей, в которых радиоактивность может достигать величины 15 000 Бк/г.

При добыче газа оценочное значение мирового годового выброса ^{222}Rn достигает 1900 ТБк (50 000 Ки).

Использование фосфорных удобрений в сельском хозяйстве, приводящее к усвоению естественных радионуклидов растениями из почвы, и отходов фосфатного производства в качестве строительных материалов (гипса) является дополнительным источником облучения.

Тем не менее техногенная радиоактивность на порядок меньше, чем естественная эмиссия радионуклидов в атмосфере.

Сводка данных по средним годовым индивидуальным эквивалентным дозам для населения земли, приведённым к настоящему времени, представлена в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Средние значения эффективных эквивалентных доз облучения, мкЗв

Источники	Вид облучения	Годовые дозы облучения	
		в мире	в России
Естественные			
Космическое излучение	Внешнее Внутреннее	400	300
Природные радионуклиды	Внешнее	450	300
	Внутреннее	630	650
Техногенный фон			
Нахождения в помещениях	Внешнее	50	100
	Внутреннее	970	950
Полеты на самолетах	Внешнее	0,5	–
Удобрения	Внешнее	$3,4 \cdot 10^{-1}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$
	Внутреннее	1,1	0,1
Угольные ТЭС (Россия – 76 ГВт (эл.); мир – 1000 ГВт (эл.))	Внешнее	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$
	Внутреннее	0,5	1,9
АЭС (Россия – 14 ГВт (эл.); мир – 80 ГВт (эл.))	Внешнее	–	$9,0 \cdot 10^{-2}$
	Внутреннее	0,1	$8,0 \cdot 10^{-2}$
Отопление и приготовление пищи		–	–
Предметы ширпотреба		1,0	–
Искусственный фон			
Медицинские процедуры	Внешнее	1000	1700
Ядерные взрывы	Внешнее		10
	Внутреннее	10	13
Итого:		3400	4000

Радиационные аварии

Согласно Федеративному закону «Об использовании атомной энергии» на территории России осуществляется государственный контроль над радиационной обстановкой. Это связано со своевременным выявлением изменений радиационной обстановки, оценкой прогнозирования и предупреждения возможных негативных последствий радиационного воздействия для населения и окружающей среды. Кроме того, оперативная информация систематически предоставляется органам государственной власти.

Под радиационной аварией понимается потеря управления источником ионизирующего излучения, вызванная неисправностью оборудования, неправильными действиями персонала, стихийными бедствиями или иными причинами, которые могли привести или привели к облучению людей выше установленных норм или к радиоактивному загрязнению окружающей среды.

За время существования ядерных технологий и использования атомной энергии в мире известно более 150 инцидентов и аварий, повлиявших на переоблучение населения и приведших к значительному загрязнению окружающей среды. Назовём наиболее крупные из них.

Аварии в Виндскейле и на АЭС «Тримайл-Айленд» – первые радиационные аварии, с которыми столкнулось человечество, получившие широкую огласку, и о причинах которых удалось многое узнать. Всё это послужило внесению значительных изменений, делавших ядерную промышленность безопаснее и надежнее.

Крупная авария в городке Виндскейл произошла в 1957 г. на северо-востоке Англии на одном из двух английских реакторов по наработке оружейного плутония. Вследствие ошибки, допущенной при эксплуатации, температура топлива в реакторе резко возросла, и в активной зоне возник пожар, продолжавшийся в течение нескольких суток. Всего сгорело около 11 т урана.

Радиоактивные осадки загрязнили обширные области Англии и Ирландии. В Лондоне, в 500 км от Виндскейла, радиационный фон повысился в 20 раз. Радиоактивное облако достигло Бельгии, Дании, ФРГ и южной Норвегии. В результате было выброшено в атмосферу радионуклида ^{131}I , что привело к эвакуации населения с территории почти 500 км².

Коллективная эффективная доза, полученная населением, составила более 1300 чел.-Зв. и вызвала свыше 1000 смертей.

Авария на втором блоке американской АЭС ТМ1-2 произошла в штате Пенсильвания в 1979 г. В результате выброса радиоактивного газа ^{133}Xe в радиусе до 100 км коллективная эффективная доза составила до 35 чел.-Зв. Радиационные мероприятия на ТМ1-2 явились наиболее интенсивной и дорогостоящей программой, которая была проведена когда-либо в истории промышленного использования ядерной энергии США: материальные потери составили 135 млрд дол.

В результате аварии сложилась радиационная обстановка, при которой уровень радиации и загрязнения превосходил что-либо, ранее наблюдавшееся в истории ядерной промышленности. Поверхностное загрязнение в некоторых местах превышало принятые предельные уровни в сто тысяч и даже миллион раз.

Авария привела к образованию огромного количества радиоактивных отходов (РАО) в самых разнообразных формах. Были осуществлены эффективные операции и методы переработки, упаковки и захоронения РАО, а также накоплен опыт разработки контейнеров для безопасной транспортировки больших объёмов высокоактивных отходов.

Зауральские аварии. В 1948 г. на Урале был осуществлен пуск первого в нашей стране промышленного комплекса по переработке плутония, который в настоящее время представляет собой современное радиохимическое предприятие ПО «Маяк». Наибольшую техногенную нагрузку пришлось выдержать водной системе комбината и прилегающим территориям, в частности реке Теча, в которую с 1949 по 1952 г. происходил сброс радиоактивных отходов в виде 76 млн м³ сточных вод активностью более 3 млн Ки, следы которых были найдены в Северном Ледовитом океане.

Радиационному воздействию подверглись 124 тыс. человек, среди них жители населённый пункт Муслумово, больные хронической лучевой болезнью.

В 1957 г. на Урале, вблизи г. Кыштым, на заводе по обогащению урана произошёл взрыв ёмкости с жидкими высокоактивными отходами вследствие отказа системы контроля тепловыделения. В результате в атмосферу было выброшено 2,1 млн Ки, образовалось радиоактивное облако длиной 350 и шириной 50 км, которое про-

шло над территорией Челябинской, Свердловской и Тюменской областей, накрыв площадь около 15 000 км², на которой проживало около 270 тыс. человек. Территория загрязнения стронцием-90 с поверхностной активностью более 2 Ки/км², на которой проживало более 10 тыс. человек, составила 1000 км².

Этот след, по направлению его движения получивший название «Восточно-Уральский радиоактивный след» (ВУРС), нанёс значительное загрязнение населённым пунктам и природным объектам. Дозы, полученные населением, доходили до значений 0,1–0,5 Зв. До сих пор долгоживущие радионуклиды продолжают оказывать воздействие, и территория является радиоактивным заповедником.

В результате засушливого лета 1967 г. обнажилась береговая линия бессточного озера Карачай, куда долгие годы ядерный комбинат «Маяк» сливал радиоактивные отходы, где в итоге оказалось 120 млн Ки. Ветровым потоком иловые отложения активностью 600 Ки были подняты в воздух и рассеяны на расстояния до 75 км. Загрязнению подверглась территория 2700 км² с населением 42 тыс. человек. Чтобы не повторилась подобная катастрофа, озеро засыпали грунтом, но в результате под ним образовалась линза загрязнённых вод. Появилась другая опасность – вытеснение ими нижних грунтовых вод, а на расстояниях в несколько десятков километров от озера в подземных водах была обнаружена радиоактивность, проникающая по подземным протокам.

В общей сумме в результате зауральских аварий пострадало почти 0,5 млн населения и потребуются ещё 300 лет, чтобы на земной поверхности и в водных объектах распались радиоактивные элементы.

Авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая 26 апреля 1984 г., стала крупнейшей ядерной аварией. На 4-м блоке ЧАЭС в результате отключения автономной системы безопасности произошли скачок мощности и взрыв, сдвинувший крышку ядерного реактора. Затем произошел второй взрыв с выбросом продуктов деления и отработанного топлива, продолжавшимся в течение четырёх суток.

Было выброшено порядка 130 млн Ки общей массой 77 кг, не считая многих тонн конструкций, топлива и др. Кроме того, часть содержимого реактора расплавилась и переместилась за его пределы через разломы корпуса реактора.

Кроме топлива, в активной зоне в момент аварии содержались продукты деления и трансурановые элементы – различные радиоактивные изотопы, накопившиеся во время работы реактора. Именно они представляют наибольшую радиационную опасность. Большая их часть осталась внутри реактора, но наиболее летучие вещества были выброшены наружу, в том числе все радиоактивные благородные газы, содержащиеся в реакторе: примерно 55 % йода в виде смеси пара и твёрдых частиц, изотопы цезия, стронция и плутония.

Струя радиоактивного вещества достигла высоты 1 км, и загрязнённое облако стало распространяться на север: через Белоруссию в Скандинавские страны. Затем, повернув на юг, облако прошло через Западную Европу на Балканы. Радиоактивные вещества распространялись в виде аэрозолей, которые постепенно осаждались на поверхность земли. Прошедшие в момент прохождения облака дожди вымывали радиоактивные вещества, и на поверхности образовывались радиоактивные пятна.

Коллективная доза только ^{137}Cs для Скандинавии и Западной Европы в течение первого года после аварии составила 80 000 чел.-Зв, а для населения СССР – 200 000 чел.-Зв. Полная ожидаемая эффективная коллективная доза оценивается более чем в 1 млн чел.-Зв.

Загрязнению подверглось более 200 000 км², примерно 70 % пришлось на территорию Белоруссии, России и Украины. В России наиболее пострадали Брянская, Калужская, Тульская и Орловская области. Наиболее загрязнёнными оказались юго-западные районы Брянской области: в послеварийный период уровень загрязнения более 40 Ки/км² имели 17,1 тыс. га угодий, впоследствии выведенные из системы землепользования.

В первые недели после аварии наибольшую опасность для населения представлял радиоактивный йод, имеющий сравнительно малый (примерно восемь дней) период полураспада. Йод в основном поглощается щитовидной железой человека при дыхании или потреблении зараженных продуктов, главным образом молока.

Особенно восприимчивы к йоду оказались дети, которые получили более высокие дозы по сравнению с взрослым населением. Дозы, полученные щитовидной железой, оцениваются в большинстве случаев ниже 0,3 Зв (150 тыс. чел.), хотя некоторые дети, воз-

можно, получили на щитовидную железу до 2,5 Зв. Эта категория жителей может составить группу риска отдаленных последствий облучения, например доброкачественные и злокачественные опухоли щитовидной железы.

В настоящее время и в ближайшие десятилетия опасность представляют изотопы стронция и цезия с периодом полураспада около 30 лет.

Наибольшие концентрации ^{137}Cs обнаружены в поверхностном слое почвы, откуда он попадает в растения и грибы. В городах основная часть опасных веществ накапливалась на ровных участках поверхности: на лужайках, дорогах, крышах. Под воздействием ветра и дождей, а также в результате деятельности людей степень загрязнения сильно снизилась, и сейчас уровень радиации в большинстве мест вернулся к фоновым значениям.

В сельскохозяйственных областях в первые месяцы радиоактивные вещества осаждались на листьях растений и траве, поэтому загрязнению подвергались травоядные животные. Затем радионуклиды вместе с дождём или опавшими листьями попали в почву. Сейчас они поступают в сельскохозяйственные растения, в основном через корневую систему. Уровень загрязнения в сельскохозяйственных районах значительно снизился, однако в некоторых регионах количество цезия в молоке всё ещё может превышать допустимые значения. Это относится, например, к некоторым областям Белоруссии и Украины, Брянской области.

Значительному загрязнению подверглись леса. Известно, что лес обладает высокой задерживающей способностью по отношению к радиоактивным выпадениям. Например, эффективность задержания радионуклидов сосновым лесом составляет порядка 90 %. Из-за того, что в лесной экосистеме цезий постоянно рециркулирует, а не выводится из неё, уровень загрязнения лесных грибов и ягод остаётся опасным.

Уровень загрязнения рек и большинства озер в настоящее время низкий. Однако в отдельных бессточных озерах концентрация цезия в воде и рыбе ещё в течение десятилетий может представлять опасность.

С другой стороны, снятие антропогенного воздействия положительно сказалось на экосистеме, закрытой для проживания людей. В результате природа стала восстанавливаться быстрыми темпами,

выросли популяции животных, увеличилось многообразие видов растительности.

В настоящее время вокруг разрушенного реактора ЧАЭС, содержащего 200 т облучённого и свежего ядерного топлива, смешанного с другими материалами, сооружен саркофаг, выполняющий защитные функции на протяжении последних лет.

Реабилитация загрязнённых территорий

Изменение уровней загрязнения территорий происходит под влиянием следующих факторов:

- естественного распада радионуклидов;
- заглупления радионуклидов под действием природно-климатических процессов;
- перераспределения радионуклидов в почвенном слое за счёт антропогенного воздействия.

Для реабилитации природных вод существует большое количество препаратов и технологических приёмов:

- флокуляция – образование рыхлых хлопьевидных агрегатов «флоккул» из мелких частиц;
- коагуляция – объединение частиц в агрегаты вследствие сцепления при их соударениях. В процессах осаждения радионуклидов стронция-90 и цезия-137 их эффективность составляет всего порядка 20–30 %;
- применение сорбентов – избирательно поглощающих веществ. В процессах реабилитации природных водных сред их применение более эффективно, но появляется проблема переработки и захоронения возникающих при этом радиоактивных отходов;
- естественная очистка – длительный процесс самодезактивации природных водных и других объектов биосферы. При общем снижении радиоактивности могут накапливаться радионуклиды в отдельных объектах, а также происходить перемещение особо загрязнённых зон.

Мероприятия по радиационной защите населения от переоблучения должны начинаться сразу после выявления радиоактивного загрязнения. Необходимы ограничение доступа на загрязнённые территории и прекращение хозяйственной деятельности, дезактивация и захоронение радиоактивных отходов, снижение потре-

ния загрязненных продуктов питания, а также осуществление переселения жителей.

Защитными мерами в сельском и лесном хозяйстве служат частичная замена культур растений и типов животноводства, сокращение площади выращивания ряда культур, прекращение овцеводства и ограничение лесопользования.

В России принятые после чернобыльской аварии меры позволили избежать получения сверхнормативно загрязненной растениеводческой продукции. В меньшей степени это относится к наиболее загрязненным районам Брянской области, где ещё необходимо проведение комплекса реабилитационных мероприятий, направленных на снижение перехода радионуклидов по пищевой цепочке.

В числе этих мер – агротехнические, агрохимические и агрометеорологические мероприятия на сельскохозяйственных угодьях, специальные мероприятия в животноводстве. Для ограничения поступления радионуклидов в организм жителей, введены временные допустимые уровни содержания радиоактивных веществ в продуктах питания. В тех случаях, когда контролируемая продукция не соответствовала этим уровням, она перерабатывалась или утилизировалась. Запрет на сбор грибов, ягод, лекарственных трав, заготовку сена в лесах сохраняется до настоящего времени.

1.5. Пути уменьшения антропогенной нагрузки на окружающую среду

Качество окружающей среды – состояние окружающей среды, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и их совокупностью. Для решения вопросов управления и регулирования качества окружающей среды необходимо иметь следующее:

- 1) представление о том, какое качество (состояние загрязнения) природных сред можно считать приемлемым;
- 2) информацию о наблюдаемом состоянии окружающей среды и тенденциях его изменения;
- 3) оценку соответствия (или несоответствия) наблюдаемого и прогнозируемого состояния окружающей среды приемлемому.

Как уже отмечалось ранее (см. гл.1.2), мониторинг окружающей среды (экологический мониторинг) – комплексная система наблю-

дений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов.

Существуют три уровня мониторинга окружающей среды для оценки антропогенного воздействия:

1) локальный – на относительно небольшой территории в зонах высокой интенсивности воздействия (города, промышленные районы);

2) региональный – на более обширные области в зонах со средним уровнем воздействия;

3) глобальный – практически по всей территории земного шара.

Важнейшим элементом экологического мониторинга является оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС), которая осуществляется в целях выявления и принятия необходимых и достаточных мер по предупреждению возможных неприемлемых для общества экологических и связанных с ним социальных, экономических и других последствий реализации хозяйственной или иной деятельности (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Схема проведения мониторинга

Для снижения негативного воздействия загрязняющих веществ на биосферу в целом и её компоненты – атмосферу, литосферу, гидросферу – необходимо знать их предельные уровни.

В соответствии с законодательством Российской Федерации устанавливаются в области охраны окружающей среды нормативы качества окружающей среды и нормативы допустимого воздействия на неё, при соблюдении которых обеспечивается устойчивое

функционирование естественных экологических систем и сохраняется биологическое разнообразие.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при длительном воздействии не вызывает каких-либо болезненных изменений в организме человека и неблагоприятных наследственных изменений у потомства, обнаруживаемых современными методами.

Определение ПДК основывается на пороговом принципе действия химических соединений. *Порог вредного действия* – минимальная доза вещества, при превышении которой в организме возникают изменения, выходящие за пределы физиологических и приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология.

Определённые таким образом нормативы основаны на принципе антропоцентризма, т.е. приемлемых для человека условий среды, что является основой санитарно-гигиенического нормирования. Однако человек не самый чувствительный из биологических видов, и нельзя считать, что если защищен человек, то защищены и экосистемы.

Экологическое нормирование предполагает учёт допустимой антропогенной нагрузки (ДАН) на экосистему, под воздействием которой отклонение от нормального состояния экосистемы не превышает естественных изменений, следовательно, не вызывает нежелательных последствий у живых организмов и не ведёт к ухудшению качества среды.

Но в качестве практического использования к настоящему времени известны лишь некоторые попытки учёта допустимой нагрузки для водоёмов рыбохозяйственного назначения.

Экологическая безопасность от деятельности хозяйственных субъектов должна обеспечиваться комплексом финансовых, законодательных и технических мер, уменьшающих вредное воздействие на окружающую среду.

Важнейшими законодательными актами являются Федеральные законы «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (1999), «Об охране окружающей среды» (2002), «Об экологической экспертизе» (2006). На территории России действуют федеральные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы, ут-

верждённые и введённые в действие федеральным органом исполнительной власти.

К числу основных методов управления охраной окружающей среды относятся информационные, предупредительные и принудительные (табл. 1.10).

Таблица 1.10

Методы регулирования рационального природопользования

Информационные	Предупредительные			Принудительные	
	административные		финансово-экономические	взыскания	ответственность
	правовые	контрольные			
Мониторинг Исследования Образование Просвещение Воспитание Пропаганда Прогнозирование	Норма права Стандарты Разрешения Экоэкспертиза	Проверка деятельности Сертификация товаров Лицензирование Экоаудит Инвентаризация	Субсидии Дотации Льготные займы Кредиты	Платежи Налоги Штрафы Облигации	Запреты работ Ограничения деятельности Арест Отстранение Изъятие

Экологическая программа должна основываться на принципе устойчивого развития, который обеспечивается не отдельными природоохранными мероприятиями, а комплексной реконструкцией производства, позволяющей минимизировать расход природных ресурсов и одновременно уменьшать антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Для достижения целей экологической программы в России определены следующие природоохранные мероприятия.

Охрана и рациональное использование водных ресурсов:

- строительство очистных сооружений для сточных вод предприятий;
- внедрение систем оборотного водоснабжения всех видов;
- повторное использование сбросных вод, улучшение их очистки;
- разработка методов очистки сточных вод и переработки жидких отходов;
- реконструкция или ликвидация накопителей отходов;

- создание и внедрение автоматизированной системы контроля за составом и объёмом сброса сточных вод.

Охрана атмосферного воздуха:

- установка газопылеулавливающих устройств;
- оснащение двигателей внутреннего сгорания нейтрализаторами для обеззараживания отработавших газов;
- создание автоматизированных систем контроля за загрязнением атмосферного воздуха;
- создание и оснащение лабораторий контроля за составом выбросов;
- внедрение установок для утилизации веществ из газов.

Использование отходов производства и потребления:

- строительство мусороперерабатывающих заводов;
- внедрение технологий для переработки, сбора и транспортировки бытовых отходов с территории городов;
- строительство установок для получения сырья из отходов производства.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое биосфера и чем определяются её границы?
2. Какие компоненты (типы вещества) биосферы выделил В.И.Вернадский?
3. Дайте определение понятий «биоценоз», «биотоп», «биогеоценоз», «экосистема». В чём отличие понятий «биогеоценоз» и «экосистема»?
4. Что такое адаптации? Как их классифицируют?
5. Что понимают под термином «вторая природа», «третья природа»?
6. Назовите главные причины, негативные последствия и пути предотвращения загрязнения окружающей среды.
7. Назовите виды мониторинга окружающей среды.
8. Назовите естественные и антропогенные источники загрязнения атмосферного воздуха.
9. Какие вещества являются источниками образования кислотных дождей?

10. Назовите антропогенные факторы загрязнения водных объектов. Какие воды считаются загрязнёнными?

11. Что такое эвтрофирование водоёмов и в чём заключается разница между эвтрофированием и загрязнением водоёмов?

12. Охарактеризуйте наиболее часто встречающиеся загрязнители водной среды.

13. Каковы последствия антропогенных кислотных загрязнений почв?

14. Какие вещества относят к твёрдым бытовым отходам? На какие группы, с точки зрения экологической безопасности, их принято разделять?

15. Приведите основные термины и определения, используемые в экотоксикологии.

16. Перечислите основные пути поступления ксенобиотиков в организм человека и животных, дайте краткую характеристику каждого из них.

17. Назовите основные типы радиоактивных распадов.

18. Какая доза является мерой биологического воздействия радиации?

19. Действительно ли окружающая среда подвергается значительно большей дозовой нагрузке после освоения ядерной энергии?

20. Укажите источник излучения, вносящий максимальный вклад в дозу для населения.

21. Какие радионуклиды являются биогенными?

22. Укажите искусственные радионуклиды, активно участвующие в биогеохимических круговоротах.

ГЛАВА 2

МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

2.1. Основы социальной экологии

Социальная экология – наука о гармонизации взаимодействий между обществом и природой. Предметом социальной экологии выступает *ноосфера*, т.е. система, которая формируется и функционирует как результат сознательной деятельности человека. Иными словами, предметом социальной экологии являются процессы формирования и функционирования ноосферы.

Социальную экологию называют ещё экологией человека или современной экологией. В последние годы стало активно развиваться научное направление, получившее название «глобалистика», разрабатывающее модели управляемого, научно и духовно организованного мира с целью сохранения земной цивилизации.

Всемирное признание социальной экологии как самостоятельной науки относят к 60-м годам XX столетия. Можно выделить три основных этапа развития данной науки.

Начальный этап – эмпирический, связанный с накоплением разнообразных данных об отрицательных экологических последствиях научно-технической революции. Результатом данного направления экологических исследований стало образование сети глобального экологического мониторинга всех компонентов биосферы.

Второй этап – «модельный». В 1972 г. вышла в свет книга Д. Медоуза и др. «Пределы роста», в которой впервые данные о разных сторонах человеческой деятельности были включены в математическую модель и исследованы с помощью ЭВМ. Впервые на глобальном уровне была исследована сложная динамическая модель взаимодействия общества и природы.

Началом третьего – глобально-политического – этапа социальной экологии считается 1992 г., когда состоялась Международная конференция по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро,

где была принята согласованная стратегия на основе концепции устойчивого развития.

Социальная экология – комплексная научная дисциплина, возникающая на стыке социологии, экологии, философии и других наук, с каждой из которых она тесно взаимодействует. Социальная экология является связующим звеном между техническими науками и общественными науками.

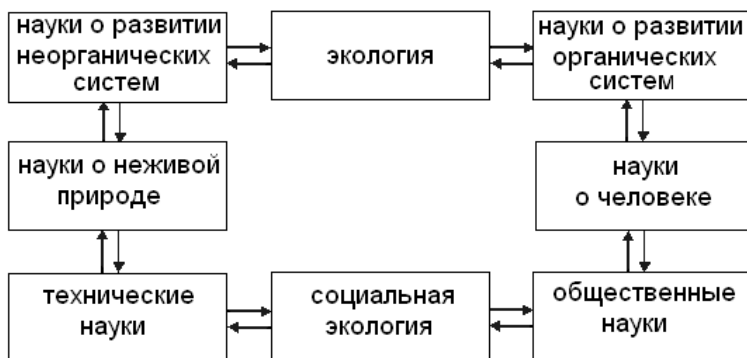


Рис. 2.1. Место экологических дисциплин в целостной системе наук

Основными глобальными социально-экологическими проблемами, рассматриваемыми социальной экологией, являются рост численности населения планеты, ресурсный кризис, возрастание агрессивности среды и изменение генофонда. А также вытекающие из них – рост потребления, рост городов, загрязнение среды, падение уровня жизни, изменение структуры населения, скученность.

Важнейший аспект исследования взаимоотношений человека и среды – изучение проблемы адаптации человека к окружающей среде и её изменениям. Понятие «адаптация человека» выступает одним из фундаментальных понятий современной социальной экологии, отражающих процесс связи человека с окружающей средой и ее изменениями.

Другим предметом изучения в социальной экологии является поведение человека в естественной и социальной среде. Фундаментальные составляющие поведения – реактивность и активность. Если реактивность даёт возможность в основном приспосабливаться к среде, то активность приспосабливает среду к себе. Чем выше

уровень организации живого организма, тем большее значение приобретает активность по сравнению с реактивностью.

Особое внимание уделяется поведению человека в ситуациях, значительно отличающихся от обычных. К таким ситуациям относятся критические (стресс, фрустрацию, конфликт и кризис), которые, в свою очередь, могут вызываться экстремальными факторами.

Актуальную значимость приобретает проблема воспитания экологических потребностей человека. Решение данной проблемы позволит человеку научиться жить в гармонии с природой, с другими людьми, с самим собой.

Социальная экология детально изучает жизненную среду человека – комплекс предметов и явлений окружающей природной и социальной действительности, с которыми он взаимодействует на протяжении жизни. В структуре единой жизненной среды человека рассматриваются социально-бытовая, трудовая и рекреационная среды.

К элементам экологической этики, нравственного аспекта взаимоотношений человека, общества и природы относится «экологический императив», выдвинутый академиком Н.Н. Моисеевым и предписывающий, придерживаясь теории коэволюционного развития общества и природы, не вступать в противоречие с естественными закономерностями, чтобы не вызвать необратимых процессов в биосфере.

Рядом с этим императивом может быть поставлен «принцип партнерства» во взаимосвязи человека и природы.

Таким образом, социальная экология – это научная область, исследующая общие структурно-пространственные, функциональные и временные законы взаимоотношения биосферы планеты и антропосистемы (её структурные уровни от всего человечества до индивидуума), а также интегральные закономерности внутренней биосоциальной организации человеческого общества.

То есть всё сводится к той же классической формуле — «организм и среда», отличие лишь в том, что «организмом» служит всё человечество в целом, а средой — все природные и социальные процессы.

2.2. Понятия безопасности и риска

Безопасность – состояние защищённости человека, общества и окружающей среды от чрезвычайной опасности. В настоящее время такое определение безопасности используется практически во всех высокоразвитых странах, и его можно рассматривать как общепринятое в анализе безопасности.

Объектами безопасности являются человек, общество, окружающая среда.

Субъекты безопасности – государство, юридические, физические лица и организации, обладающие правами и обязанностями по обеспечению экологической безопасности, а также другие государства. В качестве единиц измерения безопасности предлагается использовать показатели, характеризующие состояние здоровья человека и состояние окружающей среды. Соответственно целью обеспечения процесса безопасности являются достижение максимальных благоприятных показателей здоровья и высокого качества среды обитания.

Здоровье человека определяется его динамическим равновесием с окружающей средой. В большинстве стран мира потенциал здоровья населения принято характеризовать системой статистических показателей, включающих:

- демографические показатели (рождаемость, смертность, естественный прирост населения, продолжительность жизни);
- заболеваемость (общая, по отдельным классам болезней, отдельным возрастным группам и др.);
- физическое развитие (всего населения или различных возрастных групп);
- группы здоровья;
- инвалидность.

Для оценки здоровья используются и другие показатели. В частности, показатели, характеризующие условия, обуславливающие возникновение заболеваний. К последним относятся факторы риска.

В обычном понимании *риск* – это вероятность возникновения какого-либо нежелательного события с предсказуемыми последствиями за определённый промежуток времени. Применительно к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды под

риском понимают сочетание способствующих условий, но не непосредственную причину развития болезни.

Риск – это ожидаемая частота вредных (нежелательных) эффектов у населения, возникающих от заданного воздействия загрязняющих веществ.

Риск характеризуется вероятностью, последствиями реализации риска и значимостью последствий. В связи с этим определяют потенциальный и реальный риск.

Потенциальный риск – риск возникновения неблагоприятного для человека эффекта, определяемый как вероятность возникновения этого эффекта при заданных условиях, выражающийся в процентах или долях единицы. Расчёт потенциального риска наиболее успешно используется для медико-экологической оценки качества окружающей среды.

Реальный риск – количественное выражение ущерба общественному здоровью, связанного с загрязнением окружающей среды, в величинах дополнительных случаев заболеваний, смерти и др. Обычно определяется при оценке существующей ситуации или при ретроспективных исследованиях.

Риск здоровью человека (населения), связанный с загрязнением окружающей среды, возникает при следующих необходимых и достаточных условиях:

- существование источника риска (вредные вещества в объектах окружающей среды или продуктах питания и пр.);
- присутствие источника риска в определённой, вредной для человека, дозе;
- подверженность населения воздействию упомянутой дозы вредных веществ.

Перечисленные условия образуют в совокупности реальную угрозу или опасность для здоровья человека.

Накопленный к настоящему времени теоретический и практический опыт в области регламентирования факторов окружающей среды по медико-биологическим критериям делает возможным и необходимым проведение оценки риска здоровью адекватно тем причинам, которые этот риск обуславливают, и по тем показателям, по которым оценивается состояние здоровья.

Количественная оценка риска предусматривает оценку двух видов риска: индивидуального и популяционного.

Индивидуальный риск (потенциальный) – вероятность возникновения неблагоприятных последствий воздействия фактора риска (у отдельного человека) за определённый период времени или в течение всей жизни.

Популяционный риск (потенциальный) – общее число ожидаемых неблагоприятных последствий среди отдельных контингентов населения.

Выделяют также *относительный реальный риск*, как отношение количества или распространённости неблагоприятных реакций на фактор риска у лиц, подвергшихся воздействию этого фактора, к аналогичным показателям у лиц, не подвергшихся влиянию фактора риска.

Каждый человек в своей повседневной жизни сталкивается с большим числом разнообразных факторов риска, часть из которых является добровольными, а часть вынужденными, навязываемыми другими людьми или государством в целом.

В отличие от непосредственных причинных факторов заболеваний (например, болезнетворных бактерий, вирусов, как причин развития инфекционных заболеваний) факторы риска действуют опосредованно, создавая благоприятный фон для развития болезней.

Факторы риска – это потенциально опасные для здоровья факторы поведенческого, биологического, генетического, экологического, социального характера окружающей и производственной среды, повышающие вероятность развития заболеваний, их прогрессирование и неблагоприятный исход.

При воздействии факторов риска окружающей среды возможно развитие неоднородных эффектов, в том числе:

- генотоксического действия, проявляющегося в нарушении структуры и процессов репарации ДНК, нестабильности хромосом, хромосомных абберациях. Формирование большинства врождённых пороков развития обусловлено соматическими мутациями в эмбриональном периоде. В постнатальном периоде мутации генов соматических клеток могут инициировать развитие аутоиммунных, воспалительных, дегенеративных и неопластических процессов в различных органах и тканях;

- ферментопатического действия в виде угнетения или активации ферментных систем, влекущих за собой развитие патологических реакций в тканях;
- мембранопатологического действия, проявляющегося в виде повреждения мембранных рецепторов и нарушения проведения молекулярных сигналов межклеточного взаимодействия;
- метаболических нарушений, в результате которых происходят раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, угнетение системы местного иммунитета;
- канцерогенного действия, проявляющегося в иницировании или ускорении развития новообразований;
- тератогенного действия – возникновения ненаследуемых структурно-функциональных дефектов у зародыша или плода в период внутриутробного развития организма;
- эмбриотоксического действия – токсического влияния на эмбрион и плод, включающего структурные и функциональные нарушения или постнатальные проявления таких эффектов, как врожденные пороки развития, нарушение роста, внутриутробная гибель и нарушение постнатальных функций.
- гонадотоксическое действие, характеризующееся токсическим влиянием на половые железы и систему их регуляции.

Характер и степень выраженности факторов риска в окружающей среде определяют остроту медико-экологической ситуации.

Принято считать, что здоровье человека определяется сложным воздействием целого ряда факторов – биологических, экологических и социальных. Вклад в риск развития нарушения здоровья населения каждого из этих факторов не постоянен и зависит от вида анализируемых нарушений, конкретных географических, экономических и других особенностей исследуемого района (табл. 2.1).

В условиях крупных городов реальные нагрузки на состояние здоровья населения распределяются следующим образом: социальные факторы и образ жизни – 30,2 %; биологические факторы – 11 %; городская и внутрижилищная среда – 16,5 %; производственная среда – 18,5 %.

Факторы окружающей среды могут играть различную роль в возникновении заболевания:

- как этиологические (болезнь минамата, итай-итай и др.);

- как фактор риска, т.е. такой компонент этиологии, который, хотя и важен для развития и прогрессирования заболевания, однако сам по себе при отсутствии других условий (например, генетической предрасположенности) не способен вызывать заболевание у конкретного человека.

Таблица 2.1

Классификация факторов риска и их значение для здоровья

Группы факторов риска	Факторы риска	Значение для здоровья, %
Биологические факторы		
Генетика, биология человека	Наследственная и приобретённая в ходе индивидуального развития предрасположенность к заболеваниям.	15–20* 18–22**
Экологические факторы		
Состояние окружающей среды	Загрязнение воздуха, почвы, продуктов питания; климатические колебания, повышенный уровень радиационного, магнитного и других видов излучений.	20–25* 17–22**
Социальные факторы		
Условия и образ жизни	Неблагоприятные материально-бытовые и вредные условия труда; особенности характера образа жизни (гиподинамия, неправильное питание, вредные привычки, нарушение биоритмов и пр.); многообразные стрессовые ситуации,	50–55* 49–53**
Медицинское обеспечение	Отсутствие или неэффективность проводимых профилактических мероприятий; низкое качество медицинской помощи.	10–15* 8–10**

*Для России.

**По данным ВОЗ.

Индивидуальные различия в чувствительности к большинству неканцерогенных факторов, как правило, не превышают десяти раз, в то время как к действию канцерогенов чувствительность индивидуумов может различаться в тысячи раз. То есть при всей значимости влияния внешней среды роль наследственных факторов для здоровья человека часто оказывается определяющей.

Генотип, наследуемый ребёнком, формируется на протяжении жизни многих поколений. На него воздействует огромное количество факторов среды: физических, химических, социальных и пр. По объекту воздействия их можно разделить на следующие группы:

- воздействия на ряд предшествующих поколений. В этом случае особое значение имеет состояние окружающей среды;
- воздействие на хромосомный аппарат будущих родителей;
- воздействие на хромосомы зародыша в период его внутриутробного развития.

В последних двух случаях преимущественное значение имеет образ жизни будущих родителей, вместе с тем определённую роль играют и факторы окружающей внешней среды, обусловленные её загрязнением.

Важное значение в снижении влияния факторов риска на здоровье населения имеет профилактика.

Профилактика – комплекс разнообразных мероприятий, направленных на предупреждение заболеваний или снижение риска заболеваемости.

С учётом целей и задач, профилактику принято классифицировать следующим образом:

- 1) первичная (предупреждение и снижение заболеваемости путём воздействия на её причины и условия формирования, на факторы риска);
- 2) вторичная (предотвращение болезней, их последствий посредством ранней диагностики и своевременного лечения);
- 3) третичная (сдерживание прогрессирования развившихся заболеваний, предотвращение их рецидивов на основании широкого использования различных методов лечения и реабилитации).

По возможности регулированием факторов риска на здоровье населения, их дифференцируют как устранимые, частично устранимые и неустраиваемые.

Оценка степени отрицательного воздействия факторов риска на здоровье населения приобретает особенно важное значение при разработке проектов и планов освоения новых районов.

При классификации уровней риска для здоровья населения, обусловленного воздействием вредных веществ, загрязняющих окру-

жающую среду, используются приведённые ниже критерии приемлемости риска, рекомендованные ВОЗ (табл. 2.2.)

Таблица 2.2

Критерии приемлемости риска

Уровень риска	Характеристика риска	Значение индивидуального пожизненного риска
Высокий	Не приемлем для производственных условий и населения. Необходимы мероприятия по устранению или снижению риска	$>10^{-3}$
Средний	Допустим для производственных условий. При воздействии на всё население необходимы динамический контроль и углубленное изучение источников и возможных последствий неблагоприятных воздействий	$10^{-4} - 10^{-3}$
Низкий	Допустимый риск, при котором, как правило, устанавливаются гигиенические нормативы для населения	$10^{-6} - 10^{-4}$

2.3. Оценка риска для здоровья населения, обусловленного влиянием вредных факторов среды обитания

Стратегию социально-экономического развития человечества с конца двадцатого века определила Конференция ООН по окружающей среде и развитию, состоявшаяся в Рио-де-Жанейро в июне 1992 г. Она убедительно показала, что нельзя больше рассматривать окружающую среду и область социально-экономического развития как изолированные сферы с точки зрения деятельности человека. В рамках требований по обеспечению безопасности населения и снижения риска от использования химических веществ в качестве одной из основных поставлена задача прекращения производства и запрещения применения химических веществ повышенной опасности (отличающихся токсичностью, стойкостью, способностью к накоплению), использование которых невозможно должным образом контролировать.

Основными направлениями международной стратегии в области химической безопасности являются:

- понимание химического фактора (аналогично радиационному), как интегральной опасности нанесения ущерба здоровью человека и природной среде;
- изучение реального состояния окружающей среды, источников её загрязнения и состояния здоровья людей на основе учета всех факторов, в том числе и обеспечивающих безопасное обращение химических веществ;
- расширение и активизация деятельности по оценке риска, связанного с производством и применением химических веществ;
- создание на международном и национальном уровне структур, специально занимающихся проблемой химической безопасности во всех её аспектах;
- разработка программ по уменьшению риска воздействия химических веществ.

Федеральный закон РФ «О социально-эпидемиологическом благополучии населения» определяет понятие социально-гигиенического мониторинга как государственную систему наблюдений за состоянием здоровья населения и среды обитания, их анализ, оценку и прогноз, а также определения причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием факторов среды обитания.

В 2000 г. были утверждены Положения о социально-гигиеническом мониторинге (СГМ), внедрение которых с целью обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения осуществляется поэтапно.

Цель современного этапа СГМ – унификация системы получения медико-экологической информации, установление связи показателей здоровья и факторов окружающей среды, оценка риска здоровью населения. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, разработано с учётом положений отечественных, зарубежных и международных организаций.

Методология оценки риска должна использоваться при проведении государственного санитарного и экологического надзора, экологической и гигиенической экспертизы, экологического аудита, экологической и гигиенической паспортизации, определения зон экологического бедствия и чрезвычайной экологической ситуа-

ции, социально-гигиенического мониторинга в части оценки воздействия окружающей среды на здоровье населения.

2.3.1. Методология оценки риска здоровью населения

Человек и окружающая его среда подвержены воздействию огромного количества химических веществ. Способность химического агента наносить вред живому организму, существующая независимо от условий воздействия, в настоящее время определяется как опасность. Риск, в отличие от опасности, является результатом фактического или потенциального воздействия химических соединений. Он зависит от экспозиции и специфики конкретных условий воздействия, следовательно, всегда имеется риск возможного вреда, причиняемого ими здоровью человека. Очень часто общество нуждается в разумных, обоснованных предложениях о путях снижения риска. Такие предложения могут быть сделаны только на основе информации о вероятности и характере вредного воздействия.

Оценка риска здоровью является одним из элементов методологии анализа риска, включающей в себя оценку риска, управление риском и информирование о риске. На современном этапе развития нашего общества, характеризующемся повышенным вниманием к проблемам экологии и их влиянию на качество жизни, методология оценки риска для здоровья человека воздействия химических веществ стала значимой научно-практической задачей.

Оценка риска для здоровья человека – это количественная и качественная характеристика вредных эффектов, способных развиться в результате воздействия химических факторов среды обитания человека при определённых условиях экспозиции. Методология оценки риска – многоступенчатый процесс, нацеленный на выявление и прогноз вероятности неблагоприятного для здоровья эффекта (результата воздействия) при загрязнении вредными веществами среды обитания и (или) производственной среды.

Методология оценки риска не является альтернативой характеристики среды обитания на основе действующей системы гигиенических нормативов, в частности ПДК, ОБУВ, ПДД. В условиях принятой в Российской Федерации парадигмы санитарно-

гигиенического нормирования методология оценки риска в значительной мере опирается на устоявшуюся систему нормативов.

Существующая система гигиенического регламентирования (система ПДК) основана на пороговом действии токсиканта, т.е. вредное действие химического вещества реализуется только при превышении определённого (предельно допустимого) уровня дозы. Соблюдение норматива ПДК гарантирует отсутствие выявляемых современными методами диагностики отклонений в состоянии здоровья. Недостатком такого подхода является выпадение из регламентации стохастических (беспороговых) эффектов.

Методология оценки риска рассматривает оба существующих механизма развития вредного эффекта: нестохастический (пороговый) и стохастический (беспороговый). Методология строится на следующих подходах: 1) канцерогенные эффекты при воздействии химических канцерогенов, обладающих генотоксическим действием, могут возникать при любой дозе; 2) для неканцерогенных веществ и канцерогенов с негенотоксическим механизмом действия предполагается существование пороговых уровней, ниже которых вредные эффекты не возникают.

Результатом такого подхода является различие в методологии нормирования. Для пороговых эффектов нормирование осуществляется в соответствии с референтными дозами и концентрациями (аналог ПДК). Канцерогенные эффекты нормируются по принципу «уровня приемлемого риска», т.е. вероятность (количество дополнительных случаев) заболевания раком при воздействии оцениваемого фактора сравнивается с уровнем онкозаболеваемости в популяции. Величина приемлемого риска отражает такие уровни индивидуального риска, которые не требуют применения дополнительных мер по его снижению и незначительны по отношению к рискам, существующим в повседневной деятельности или жизни людей.

На основании выполненных расчётов делается заключение о приемлемости или неприемлемости для населения и профессиональных групп уровней индивидуальных рисков и формируются предложения для принятия решения о проведении экстренных мероприятий по снижению риска – управление рисками.

В настоящее время органами Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека ис-

пользуется «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» (2004).

Методология токсикологического нормирования, основанная на оценке риска здоровью должна применяться для решения следующих вопросов социально-гигиенического мониторинга:

- при осуществлении государственного санитарно-эпидемиологического надзора за размещением объектов – выборе мест для строительства жилых объектов, лечебных учреждений, учреждений социально-культурного назначения и пр., непосредственно прилегающих к промышленным объектам, способным загрязнять окружающую среду химическими веществами, с учетом размеров их санитарно-защитных зон;
- при выявлении химических загрязнений более чем одного компонента окружающей среды в диапазонах доз 0,1–1,0 ПДК;
- при выявлении загрязнения территории несколькими химическими веществами (особенно при интермиттирующем действии), не превышающего уровня 1,0 ПДК для каждого из загрязнителей;
- для расчёта размеров санитарно-защитных зон предприятий;
- для оценки ущерба (вреда), нанесённого здоровью от воздействия факторов среды обитания, в том числе при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера.

2.3.2. Алгоритм оценки риска

Методологическую основу алгоритма оценки риска составляет научно обоснованная и установленная зависимость «доза–ответ», которая предусматривает выявленную причинную обусловленность развития вредного эффекта при действии данного вещества в определенных дозах.

Зависимость «доза–ответ» для оценки канцерогенного риска отражает величина вероятности развития рака при увеличении дозы (концентрации) на 1 мг/кг или 1 мг/м³. Этот параметр имеет название «фактор наклона» (SF).

Для характеристики риска развития неканцерогенных эффектов в основном используются такие показатели, как референтная доза (RfD) и референтная концентрация (RfC) химических веществ. Эти показатели являются основой для установления уровней минимального риска. Превышение референтной (безопасной) дозы не связано с безальтернативным развитием вредного эффекта, однако чем выше воздействующая доза, и чем больше она превосходит референтную, тем выше вероятность появления вредных эффектов.

Параметры для характеристики рисков – показатели оценки риска воздействия канцерогенных агентов (фактор наклона, SF) и неканцерогенных агентов (референтных доз и концентраций, RfD и RfC) – являются результатом длительного этапа научного обоснования и установления зависимостей «доза–эффект». В подавляющем большинстве случаев, при проведении работ по оценке риска, эксперты используют уже определенные и рекомендуемые значения этих параметров.

Показатели, используемые для оценки риска, устанавливаются на уровне верхней доверительной границы риска, что обеспечивает значительный запас их надёжности. По мере появления новых научных данных эти показатели подлежат пересмотру и дополнению. Рекомендуемые значения референтных уровней воздействия утверждаются Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации. При отсутствии значений референтных доз и концентраций возможно использование известных значений ПДК.

В развёрнутом виде алгоритм оценки риска реализуется проведением четырёх последовательных этапов:

- 1) идентификации источника опасности (вредного фактора);
- 2) оценки экспозиции и дозы;
- 3) характеристики риска;
- 4) формирования заключения об итогах оценки риска для здоровья.

2.3.3. Идентификация опасности

Идентификация опасности предусматривает установление на качественном уровне весомости доказательств способности того или иного агента вызывать у человека определённые вредные эффекты.

На этапе идентификации опасности с учётом информации о концентрациях химических веществ в объектах окружающей среды и возможном их влиянии на здоровье человека, сведений о количественных критериях, необходимых для последующего анализа риска для здоровья (референтные дозы и концентрации, факторы канцерогенного потенциала), уточняются цели и задачи оценки риска, формируется план проведения последующих исследований, устанавливаются неопределенности, способные повлиять на полноту и достоверность окончательных заключений и рекомендаций. Тем самым определяются границы оценки риска, характеризующие область применения полученных результатов.

Сбор и анализ данных об источниках, составе и условиях загрязнения на исследуемой территории

При оценке риска на определенной территории необходимо установить все основные существующие или существовавшие в прошлом источники загрязнения объектов окружающей среды. При этом дифференцируют источники загрязнения на прилегающих территориях, потенциально способные воздействовать на исследуемую группу людей в связи с возможностью пространственного распространения загрязнения, а также накопления химических веществ во вторично загрязненных средах в результате межсредовых переходов.

В предварительный список источников загрязнения включаются вещества, обнаруживаемые в объектах окружающей среды (атмосферный воздух, питьевая вода, вода открытых водоёмов, почва, привозные и местные продукты питания) при проведении санитарно-химических исследований. При этом дифференцируют: компоненты выбросов от источников загрязнения атмосферного воздуха; возможные опасные продукты трансформации загрязняющих веществ в окружающей среде; компоненты сбросов сточных вод в водоем (в случае его хозяйственно-питьевого или культурно-бытового назначения); химические соединения и продукты их трансформации, попадающие в питьевую воду в процессе её очистки, обеззараживания, хранения или доставки потребителям; компоненты загрязнения почвы.

Необходимо тщательно анализировать официальные сведения о составе выбросов (сбросов) с учётом вида источника загрязнения и

особенностей используемых технологических процессов. При обнаружении явных неточностей следует провести проверку качественных и количественных характеристик выбросов в атмосферу, сбросов в водоемы и отходов производственной деятельности.

Информацию о потенциальных загрязнителях водоисточников можно получить из предпроектных и проектных материалов систем канализования, отдельных очистных сооружений, комплексных природоохранных программ и др.

Информацию о возможном загрязнении питьевой воды получают из проектов системы водоснабжения, технологических карт, сертификатов, ТУ и другой документации, относящейся к реагентам, грузкам, материалам и элементам транспортирующих и разводящих конструкций, протоколов, отчетов и другой документации, представляемой в центры Госсанэпиднадзора.

При анализе возможного загрязнения почвы необходимо принимать во внимание расположение участков её локального загрязнения, химический состав промышленных отходов, захоронений, проливов, а также наличие длительного загрязнения сопредельных сред стойкими химическими соединениями (например, загрязнения атмосферного воздуха диоксинами, полихлорированными бифенилами, полиароматическими углеводородами, ртутью, мышьяком и др.).

Наряду с анализом поступления химических веществ в окружающую среду от учтённых источников загрязнения, необходимо использовать имеющиеся результаты санитарно-химических исследований различных объектов окружающей среды на изучаемой территории.

Собранные данные группируются с учётом исследуемого объекта окружающей среды и мест отбора проб. В анализ включают не только итоговые статистические параметры, но и все измеренные разовые концентрации с указанием даты отбора проб, что особенно важно при оценке риска острых воздействий химических соединений.

С целью выявления приоритетных веществ необходимо проанализировать физико-химические свойства исследуемых веществ, которые определяют особенности их поведения в окружающей среде. Источниками сведений о данных показателях являются разнообразные специализированные справочники и компьютерные

базы данных, а также количественные зависимости «химическая структура – свойства».

Это позволит выбирать преимущественные маршруты воздействия, пути поступления химических веществ в организм, а также приоритетные среды для определения расчётного или реального содержания химических веществ при оценке экспозиции.

Обнаружение у химического вещества способности к межсредовым переходам, накоплению одновременно в нескольких объектах окружающей среды является показанием к проведению оценки кумулятивного (многосредового) риска, обусловленного поступлением химических соединений в организм человека одновременно из нескольких сред.

Анализ информации о показателях опасности химических канцерогенов

На этапе идентификации опасности в качестве потенциальных химических канцерогенов необходимо выделить группы веществ, которые предположительно одновременно поступают в организм. Для таких химических соединений необходимо провести сопоставление критических органов (систем) и эффектов и на основе имеющихся литературных данных или аналогии со структурно близкими веществами попытаться предположить тип их совместного (комбинированного и комплексного) действия.

В качестве консервативного подхода к оценке комбинированного действия неканцерогенов используется предположение об аддитивности действия веществ, воздействующих на одни и те же органы или системы организма.

Выбор приоритетных химических веществ для исследования

Максимально полный перечень потенциально приоритетных веществ на исследуемой территории анализируется с целью выявления химических соединений, представляющих повышенную опасность и выделенных в процессе формирования предварительного сценария воздействия, и путей их поступления в организм человека.

Всесторонняя оценка риска воздействия на здоровье человека всех потенциально вредных веществ хотя и желательна, но реально

неосуществима из-за большого объёма исследования и требуемых материальных ресурсов, а также отсутствия адекватных данных об уровнях воздействия и потенциальной опасности ряда химических соединений. В связи с этим анализ обычно проводится на основе детального исследования ограниченного числа приоритетных (индикаторных) веществ, которые наилучшим образом характеризуют реальный риск для здоровья.

Ведущими критериями для выбора приоритетных (индикаторных) загрязняющих веществ являются их токсические свойства, распространённость в окружающей среде и вероятность их воздействия на человека: количество вещества, поступающее в окружающую среду; высокая стойкость (персистентность) вещества в объекте окружающей среды; способность к биоаккумуляции; способность вещества к межсредовому распределению, миграции из одной среды в другие среды, что проявляется в одновременном загрязнении нескольких сред и пространственном распространении загрязнения; опасность для здоровья человека, т.е. способность вызывать вредные эффекты (необратимые, отдаленные, обладающие высокой медико-социальной значимостью).

Приоритетность химических соединений оценивается также на основании принадлежности к отечественным, зарубежным и международным перечням приоритетных и особо опасных химических веществ, а также химических соединений, являющихся типичными компонентами загрязнения городской среды или характерными для выбросов (сбросов) от конкретных промышленных объектов (ТЭЦ, мусоросжигательные заводы, нефтеперерабатывающие предприятия и др.) и автотранспорта.

Основные отечественные и международные перечни приоритетных и опасных химических веществ обобщены в компьютерной системе, разработанной в НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН.

2.4. Типы стандартных медико-экологических ситуаций и критерии их оценки

Медико-экологическую ситуацию в любом регионе (или населённом пункте) принято оценивать по категориям:

- удовлетворительная;

- относительно напряженная;
- существенно напряженная;
- критическая или чрезвычайная экологическая;
- катастрофическая или ситуация экологического бедствия.

Удовлетворительная медико-экологическая ситуация характеризуется полной и неограниченной пригодностью среды обитания, её экологической безопасностью и безвредностью для здоровья населения.

Относительно напряженная медико-экологическая ситуация свидетельствует о некоторой (наименьшей, но регистрируемой) степени опасности для населения оцениваемых вредных факторов среды обитания. При этом могут развиваться начальные изменения в состоянии здоровья (преимущественно в виде роста числа функциональных нарушений и предпатологии) у наиболее восприимчивой части населения (новорождённых, детей раннего возраста, беременных женщин и других групп).

Существенно напряжённая медико-экологическая ситуация характеризуется значительным уровнем загрязнения среды обитания, ростом заболеваемости у наиболее восприимчивой части населения, а также достоверным ростом предположительно экологически зависимых болезней среди детей и взрослых, некоторым увеличением детской и суммарной заболеваемости.

Критическая или чрезвычайная медико-экологическая ситуация характеризуется высокой степенью загрязнения среды обитания, опасностью для населения тех или иных объектов окружающей среды. При этом отмечается повышенный уровень заболеваемости по ряду нозологических форм и классов болезней с возможной регистрацией экологически обусловленной патологии в различных возрастных группах населения.

Катастрофическая медико-экологическая ситуация или ситуация экологического бедствия характеризуется ещё большими (в сравнении с критической ситуацией) количественными показателями загрязнения среды обитания и установленной причинно-следственной связью между вредными факторами среды обитания и экологически обусловленными изменениями состояния здоровья населения.

В Законе «Об охране окружающей среды» даны следующие определения.

Зонами чрезвычайной экологической ситуации объявляются участки территории, где в результате хозяйственной или иной деятельности происходят устойчивые отрицательные изменения в окружающей среде, угрожающие здоровью человека, состоянию естественных экологических систем, генетическому фонду растений и животных.

Зонами экологического бедствия объявляются участки территории, где в результате хозяйственной или иной деятельности произошли глубокие необратимые изменения окружающей среды, повлекшие за собой существенное ухудшение здоровья населения, нарушение природоохранного равновесия, разрушение естественных систем, деградацию флоры и фауны.

В России к регионам с неблагоприятной экологической ситуацией относятся: Кольский полуостров (высокая чувствительность северных экосистем к техногенным воздействиям, особенно к кислотным осадкам, образующимся в результате выбросов предприятий цветной металлургии); Московский регион (промышленность, автотранспорт, сельское хозяйство); Северный Прикаспий (Астраханский нефтегазовый комплекс); Среднее Поволжье, Прикамье (нефтяная и нефтехимическая промышленность); промышленная зона Урала, нефтегазопромысловые районы Западной Сибири, Кузбасс, Норильский промышленный район; Новая Земля; зона влияния аварии на Чернобыльской атомной станции и ряд других территорий.

К зонам экологического бедствия относятся, в частности, города Норильск, Нижний Тагил, Челябинск, Магнитогорск, Новокузнецк, Липецк, Череповец.

Выделяют три группы критериев для оценки экологической ситуации. Эти критерии характеризуют окружающую природную среду, здоровье населения, естественные экосистемы (табл. 2.3)

Следует отметить, что анализируемые признаки позволяют рассматривать экологическое неблагополучие либо как свершившееся бедствие, либо как надвигающуюся угрозу на таких территориях, где воздействие продолжается не менее года. При этом оценка экологического состояния даётся в сравнении с фоновым значением, за который принято считать относительно удовлетворительное благополучное экологическое состояние в регионе.

Таблица 2.3

**Признаки территорий крайних степеней
экологического неблагополучия**

Положения	Степень неблагополучия	
	экологическое бедствие	экологический кризис
Окружающая природная среда	Глубокие необратимые изменения	Устойчивые отрицательные изменения
Здоровье населения	Существенное ухудшение здоровья	Угроза здоровью населения
Естественные экосистемы	Разрушение экосистем (загрязнения природной среды, нарушение природного равновесия и пр.)	Устойчивые отрицательные изменения естественных экосистем (уменьшение видового разнообразия и пр.)

В России оценка классификация чрезвычайных ситуаций представлена в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Шкала оценки чрезвычайных ситуаций

Вид чрезвычайной ситуации	Классификационный признак			
	количество пострадавших, чел.	количество лиц с нарушениями условий жизнедеятельности	материальный ущерб (число минимальных размеров оплаты труда)	распространение чрезвычайной ситуации
Локальная	< 10	< 100	< 10 ³	В пределах территории объекта
Местная	10–50	100–300	5·10 ³ –5·10 ⁵	В пределах населённого пункта
Территориальная	50–500	300–500	5·10 ³ –5·10 ⁶	В пределах субъекта РФ
Региональная	50–500	500–1000	10 ⁵ –5·10 ⁶	Территория двух субъектов РФ

Состояние здоровья населения в зонах чрезвычайных ситуаций оценивается по ряду медико-демографических критериев (табл. 2.5) с учётом показателей загрязнения окружающей среды.

Таблица 2.5

Медико-демографические критерии здоровья населения для оценки экологического состояния территорий

Медико-демографический критерий	Зона экологического бедствия	Зона экологического кризиса
Основные показатели		
Увеличение смертности и изменение её структуры	В 1,5 раза и более	В 1,3–1,5 раза
Увеличение младенческой смертности и детей в возрасте от 1 до 4 лет	В 1,5 раза и более	В 1,3–1,5 раза
Увеличение частоты врождённых пороков развития	В 1,5 раза и более	В 1,3–1,5 раза
Изменение заболеваемости детей и взрослых	В 2 раза и более	В 1,5–2,0 раза
Онкологические заболевания	В 2 раза и более	В 1,5–2,0 раза
Специфические заболевания	Имеются	Нет
Дополнительные показатели		
Увеличение нарушений репродуктивной функции у женщин	В 2 раза и более	В 1,5–2 раза
Отклонения в физическом развитии детей	Более 50 %	30–50 %
Отклонения в психическом развитии детей	20 % и более	10–20 %
Генетические нарушения: увеличение хромосомных aberrаций, разрывов ДНК	В 3 раза и более	В 2–3 раза

Показатели изменений здоровья населения подвержены колебаниям, обусловленным как объективными (для региона), так и «субъективными» (для исследуемой территории) процессами, поэтому следует учитывать лишь чёткую стабильную динамику или тенденцию к увеличению тех или иных показателей не менее чем за 5-летний период наблюдения.

В качестве критериев техногенно обусловленного загрязнения вредными веществами среды обитания используются соответст-

вующие показатели степени опасности загрязнения атмосферного воздуха, воды, почвы и продуктов питания.

Комплексный показатель напряжённости эколого-гигиенической ситуации с учётом нагрузки вредных факторов на среду обитания устанавливается как по суммарному показателю загрязнения территории, так и по наиболее опасному из оцениваемых факторов риска в одном из объектов среды.

Определение градаций степени напряжённости медико-экологической ситуации на конкретных территориях по показателям медико-демографических и эколого-гигиенических критериев даёт представление о потенциальной опасности ситуации на исследуемой территории. Окончательное заключение о реальной напряжённости медико-экологической ситуации выдаётся только по результатам анализа причинно-следственных связей изменений здоровья населения с конкретными вредными экологически обусловленными причинными факторами.

Установление причинно-следственных связей в системе «среда обитания – изменение здоровья населения» осуществляется на основе предметного (логического, системного анализа) и программно-математических приёмов обработки всей совокупности данных о показателях изменения здоровья населения и исследуемых экологически вредных факторов в среде обитания.

При этом используются следующие способы выражения рассматриваемых связей применительно к оценке опасности фактора риска:

- ситуационный пространственно-временной анализ, учитывающий реальность существования и условий воздействия вредных факторов и их источников на популяцию на одной и той же территории;
- наличие на указанной территории повышенного уровня болезней, предположительно связанных с этими экологически вредными факторами;
- этиопатогенетический анализ обусловленности патологии конкретными вредными факторами среды обитания, включающей, в том числе, оценку совпадения силы фактора и адекватной реакции здоровье населения на воздействие;
- этиопатогенетическая доказанность связи «воздействие – реакция» в биологической модели;

- оценка данных биоиндикации в случае выявления у населения повышенного уровня вредных веществ в биосредах;
- подтверждение эпидемиологических и токсико-радиологических оценок данными углублённого клинико-гигиенического обследования групп риск, в том числе установление положительных аллергологических и иммунологических проб;
- оценка эффективности системы проводимых на оцениваемой территории профилактических и оздоровительных мероприятий.

Наличие данных для характеристики ситуации по всем составляющим даёт основание считать полностью доказанной реальную значимость степени напряжённости медико-экологической ситуации. Получение результатов по пяти первым из семи или только по первым трём-четырёх составляющим анализируемой системы даёт возможность говорить, соответственно, о значительной степени или предположительной доказанности реального риска здоровью напряжённости.

Установление причинно-следственного характера возникновения риска крайне важно для постановки и решения задач по управлению рисками.

2.5. Эколого-гигиеническое обоснование системы управления здоровьем населения на территориях с высокой техногенной нагрузкой

До появления методики оценки риска выбор интегрального критерия оценки информации о состоянии медико-экологической ситуации, учитывающей экологические, медицинские и экономические аспекты был крайне затруднён. Введение понятия «риск» в качестве критерия позволило как проводить анализ сложившегося положения (определять приоритеты в области охраны окружающей среды, здравоохранения, социальной политики и пр., оценивать экономический ущерб), так и осуществлять управление медико-экологической ситуацией на основе прогнозирования и предварительной оценки эффективности планируемых мероприятий.

В соответствии с общей теорией управления, под управлением понимают такую организацию, которая обеспечивает достижение определённой цели. В общем случае процесс управления состоит из

четырёх фаз, протекающих последовательно, одновременно или с опережением:

- формулировки цели и задач управления;
- получения информации о состоянии объекта управления;
- анализа полученной информации и выработка решения;
- исполнения решения.

Управление риском – процесс принятия решений, использующий результаты оценки риска и включающий в себя соображения научно-технического, социально-экономического и политического характера для обоснования наиболее оптимальных регулирующих действий в отношении загрязнения окружающей среды с целью предупреждения или уменьшения опасности для здоровья.

Стандартная процедура управления риском, как и его оценка, состоит из следующих элементов:

- сравнительной оценки и ранжирования рисков;
- определения уровней приемлемости;
- выбора стратегии снижения и контроля риска;
- принятия регулирующих решений.

Для возникновения риска необходимо присутствие двух составляющих: фактора риска и ущерба. В зависимости от того, в чём выражаются эти составляющие и как оцениваются, условно выделяют отдельные виды риска. При рассмотрении медико-экологической ситуации на первые роли выходят факторы риска, определяющие состояние здоровья населения. В соответствии с этим рассматриваются соответствующие группы факторов риска: факторы экологического риска, социального и пр.

Для решения конкретных задач управления необходимо конкретизировать фактор с максимальной точностью. Например, недостаточно точно определить, что на территории с неблагоприятной экологической обстановкой на здоровье населения воздействуют химические факторы. Для того чтобы можно было управлять риском, а следовательно, и медико-экологической ситуацией, необходимо идентифицировать, какие именно вещества и при каком пути поступления оказывают наибольшее неблагоприятное влияние. В этом случае при выявлении источника выбросов (или долевого вклада нескольких источников в загрязнение окружающей среды) возможно принятие обоснованных управленческих решений (например,

снижение выбросов наиболее опасных веществ от источников, определяющих максимальные концентрации поллютантов в селитебных зонах).

Таким образом, идентификация вида риска (в зависимости от его факторов) помогает определить область принятия управленческих решений, а конкретизация факторов риска позволяет разработать конкретные меры по его снижению.

Ущерб, как составляющая риска при оценке медико-экологической ситуации, выражается в натуральной (случаи заболевания, уменьшение продолжительности жизни и пр.) и стоимостной (дополнительные затраты на медицинское обслуживание и пр.) формах.

При выборе методов управления риском учитывают сравнительные характеристики возможных ущербов для здоровья людей и общества в целом, возможные затраты на реализацию различных вариантов (сценариев) управленческих решений по снижению (предотвращению) риска и тех выгод, которые будут получены в результате реализации мероприятий (например, сохранение человеческой жизни, предотвращенные случаи заболеваний).

Для оценки, обоснования и выбора сценариев достижения гигиенически безопасного (допустимого) уровня риска используют различные экономические методы, основанные на методологии «затраты – эффективность» и «затраты – выгоды».

Основу метода «затраты – выгоды» составляет минимизация затрат на единицу выгоды (результативности) выбираемой стратегии управления риском, или (что равнозначно) максимизация выгод на единицу предполагаемых издержек. В составе затрат учитывают, например, мероприятия по реконструкции предприятия, отселению жителей из санитарно-защитной зоны, медико-профилактические и реабилитационные мероприятия для населения до момента их отселения и пр. В состав выгод включают: предотвращенный ущерб здоровью и жизни населения, снижение платы за землю в результате сокращения размера санитарно-защитной зоны, снижение платежей за загрязнение окружающей среды в результате реализации мероприятий, направленных на сокращение негативного воздействия предприятия на окружающую среду и пр. При этом стоимостная оценка жизни и здоровья людей в методологии управления риском используется только для сравнения различных сценариев принятия

управленческих решений, а не является мерилom жизни и здоровья человека, ценность которых не может выражаться в стоимости.

Метод «затраты – эффективность» основан на оценке средних (удельных) и предельных затрат на снижение единицы риска для жизни и здоровья людей в натуральном выражении, результаты которых показывают необходимость и целесообразность снижения экологически обусловленного риска для конкретной цели управления.

Ключевым элементом управления экологически обусловленным риском здоровью населения является экономическая оценка ущерба причиненного в результате загрязнения окружающей среды. В качестве интегрального показателя эффективности мер, направленных на минимизацию риска возникновения чрезвычайных ситуаций, используют сумму реально предотвращенного ущерба.

Для эффективного управления медико-экологической ситуацией на территориях с высокой техногенной нагрузкой с целью снижения риска для здоровья населения используется системный подход, основанный на поэтапной постановке, решении и, при необходимости, корректировке приоритетных задач.

Перечень задач и методов, используемых для эффективного управления медико-экологической ситуацией, представлен в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Задачи и методы управления медико-экологических ситуаций

Задача	Методический приём	Результат
Выбор приоритетных территорий и контингентов для управления риском	Оценка относительного эпидемиологического риска с обобщением результатов в виде интегральных вероятных показателей и с учётом дополнительных затрат на медицинское обслуживание	Перечень приоритетных территорий, контингентов и видов патологии
Дополнение информационных баз социально-демографическими, экономическими и лабораторными данными	Развитие системы санитарно-гигиенического мониторинга за счёт углубленных медико-экологических, гигиено-эпидемио-логических, клинико-лабораторных исследований на приоритетных территориях	Создание информационной базы, адекватной задачам управления риском

Окончание табл. 2.6

Задача	Методический приём	Результат
Анализ зависимостей «качество среды обитания – здоровье населения» для оценки развития риска патологии	Поэтапное математическое моделирование зависимости «концентрация в среде обитания – доза – концентрация в организме – ответ организма»	Региональные параметры зависимости «доза-эффект»
Количественная оценка риска для здоровья, в том числе связанного с отдельными факторами и источниками риска	Оценка вероятности развития патологии при помощи медико-экологических, гигиеноэпидемиологических, клиникалабораторных методов исследования и экстраполяции данных	Уровни индивидуального и популяционного риска для отдельных контингентов
Анализ и прогнозирование риска для здоровья населения при многосредовом поступлении вредных веществ в организм	Оценка относительных дозовых рисков с использованием принципа поэквивалентности поглощенной (внутренней) дозы	Приоритетные контингенты, объекты среды обитания и факторы риска для социально-гигиенического мониторинга
Обоснование разработки критериев управления иском для здоровья населения	Оценка индивидуального и популяционного риска с учётом поступления вредных веществ из различных микросред. Обоснование допустимых концентраций вредных веществ в объектах среды обитания. Оптимизация математических моделей	Величины регионально-допустимой нагрузки в виде безопасных концентраций вредных веществ в объектах среды обитания
Обоснование и разработка приоритетных мероприятий по уменьшению риска здоровья	Ситуационное моделирование изменения риска для здоровья и связанного с ним экономического ущерба	Приоритетные по критерию риска для здоровья природоохранные и лечебно-профилактические мероприятия
Оценка эффективности профилактических мероприятий	Оценка соотношения предотвращённого экономического ущерба и затрат на проведение мероприятий	Величина экономической эффективности профилактических мероприятий

Контрольные вопросы и задания

1. Какое место занимает социальная экология в структуре экологических знаний?
2. В чём состоит современный экологический кризис и каковы подходы к определению путей его преодоления?
4. Каковы перспективы развития взаимоотношений природы и общества?
5. В чём заключается концепция устойчивого развития?
6. Какие существуют пути адаптации человека к естественной и социальной среде?
7. Назовите факторы риска. Какова доля каждого из них в сохранении здоровья человека?
8. Определите термины «безопасность» и «риск».
9. Назовите критерии приемлемости риска.
10. Приведите примеры экологических факторов риска.
11. Укажите типы и оценки стандартных медико-экологических ситуаций.
12. Что такое зоны чрезвычайных экологических ситуаций и бедствий?
13. Укажите сущность процесса управления здоровьем населения.

Г Л А В А 3

МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ

3.1. Общие положения

Экологический аудит – неотъемлемая составная часть процессов управления и обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития организаций, направленная на снижение уровня риска для окружающей среды и здоровья людей. Он рассматривается в международной практике в качестве метода внутреннего административного управления, средства усиления контроля над производственной практикой, оценкой соответствия стратегий деятельности организации нормам экологического права.

В 1996 г. был принят комплекс из шести международных стандартов ИСО серии 14000, охватывающий вопросы экологического аудирования и системы управления (менеджмента) окружающей средой. Стандарты ИСО этой серии зарегистрированы в России как национальные.

Проведение экологического аудита позволяет установить диагноз «экологического здоровья» организации, территории с присущей ей инфраструктурой, способность природных и производственных систем к самоочищению и снижению загрязнения окружающей среды (ОС), а также определить способность технологической системы организации производить экологически чистую продукцию. В сферу рассмотрения при экологическом аудите входит и оценка системы управления ОС.

Экологический аудит подразделяется на добровольный (инициативный) и обязательный. Инициативный экологический аудит проводится на добровольной основе по решению хозяйствующего субъекта, тогда как обязательный – по решению и поручению государственных органов. В международной практике обязательный экологический аудит (в том числе внутренний) проводится при реализации международных обязательств (например, конвенций и

соглашений для видов деятельности, оказывающих существенное воздействие на состояние экологической обстановки организаций, территорий и здоровья граждан).

В принятой практике экологического аудирования оценка качества окружающей среды, безопасности здоровья и жизни граждан выполняется по соблюдению экологических, гигиенических и санитарно-эпидемиологических нормативов; предельно допустимых уровней воздействия, требований и правил безопасности, норм качества.

Экологический аудит в своей практике не использует непосредственно анализ состояния здоровья граждан ни по данным медицинской статистики, ни по данным клинического исследования. Он не рассматривает результаты и достоверность определения причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием факторов среды обитания, ограничиваясь, как правило, установлением и проверкой соблюдения нормативных технических и гигиенических показателей (норм качества окружающей среды). Состояние здоровья человека при экологическом аудите не является непосредственно критерием оценки экологической безопасности, которую предполагается обеспечивать соблюдением нормативов.

Однако комплекс нормативов оценки качества ОС не может являться однозначным и полным критерием состояния здоровья человека и качества его жизни, так как гигиенические нормативы разрабатываются на животных, за короткий (до 4–6 мес.) промежуток времени.

Нормативы отсутствуют для малоизученных факторов внешнего воздействия, не изучены для различных возрастных групп населения, для условий одновременного действия комплекса неблагоприятных факторов, не определены при хронических воздействиях неблагоприятных факторов, для многих токсичных веществ нет банка данных по медицинским симптомокомплексам при хронических заболеваниях. Экологи не сотрудничают с медиками при проведении экологического аудита, хотя аудит системы экологической безопасности, исходя из определения экологической безопасности, предусматривает в качестве критерия «жизненно-важный интерес человека» – состояние его здоровья.

Существующая система обеспечения безопасности здоровья и жизни граждан требует дальнейшего развития в части создания подсистемы медико-экологического аудита, лежащей в общей пограничной области отраслей медицины и экологии. Особенно это актуально при создании систем комплексной безопасности, относящихся к опасным производствам в связи с использованием в его производственном цикле высокотоксичных, горючих и взрывоопасных химических веществ.

Основная цель создания подсистемы медико-экологического аудита на экологически опасных объектах (ЭОО) заключается в том, чтобы развить и использовать на практике медико-экологический подход при создании систем управления комплексной безопасностью экологически опасных объектов, в том числе объектов по безопасному хранению и уничтожению химического оружия. Медико-экологический подход полагает основным объектом исследования человека, а важнейшим критерием качества окружающей среды – его здоровье. Развитие и практическое применение медико-экологического подхода обеспечит в максимальной степени решение возникающих вопросов социальной напряженности граждан, профессионально занятых на объекте и проживающих вблизи объекта.

Решение этих вопросов обеспечивается тем обстоятельством, что медико-экологический подход предполагает взаимосвязанную медицинскую и экологическую (медико-экологическую) экспертизу состояния здоровья граждан и качества окружающей среды и установление причинно-следственных связей экологически обусловленных патологий и характеристик источников заболеваний до начала функционирования объекта, в процессе и после его эксплуатации.

В основе развитого медико-экологического подхода лежит медико-экологическая экспертиза здоровья детей, как наиболее чувствительных к внешним воздействиям и не обремененных социальными нагрузками.

Беспричинных заболеваний не существует. В основе каждого заболевания обязательно лежит воздействие на пациента вполне конкретного патогена. Однако большинство диагнозов, выставляемых ребёнку или подростку, не включает в себя этиологию (причину) болезни. Лечение вслепую, как правило, полисимптомных и

полиорганных заболеваний химической или физической этиологии чаще всего не только неэффективно, но зачастую и вредно. При отсутствии информации о патогенном факторе, воздействию которого подвергся тот или иной пациент, каждый из специалистов лечит (а по сути, лишь временно снимает проявления заболевания) своим набором терапевтических средств.

В конечном итоге пациент с неустановленной причиной заболевания химической или физической этиологии получает одновременно много препаратов. Подобное лечение имеет чаще всего негативный эффект, соразмерный с негативным эффектом исходного заболевания. Возвращение пациента под воздействие не установленного патогена и под действие невыявленного источника с неизбежностью приводит к возобновлению заболевания химической или физической этиологии.

По целому ряду причин организм ребёнка наиболее уязвим к патогенному воздействию факторов химической и физической природы. Дополнительными и очень чувствительными мишенями патогенного воздействия (относительно организма взрослого человека) являются многочисленные стадии роста и развития детского организма. Кроме того, клетки наиболее чувствительны к патогенному воздействию широкого перечня факторов химической и физической природы именно на стадии митоза, наиболее характерного для тканей и органов растущего детского организма. Влияние патогенных факторов химической и физической природы, обладающих мито-, онко- и тератогенным действием с неизбежностью приводит к широкому перечню опухолей, врождённых патологий и уродств.

Поэтому основными задачами в отношении обслуживаемого детского контингента в конечном итоге являются:

- доказательное установление причин массовых заболеваний детей, проживающих вблизи особо опасных производств с патогенными факторами химической, радиационной и биологической природы;
- доказательная постановка этиологически полноценных диагнозов при воздействии факторов химической, радиационной и биологической природы;

- осуществление этиотропного и патогенетического лечения и прицельной профилактики заболеваний химической, физической и биологической этиологии.

Современные методы классической и клинической эпидемиологии, а также токсико-клинического и токсико-патогенетического анализа позволяют доказательно устанавливать причины как массовых, так и индивидуальных хронических заболеваний химической этиологии.

Медико-экологический аудит оценивает уровень реализации медико-экологического подхода при создании систем экологической безопасности на экологически опасных объектах.

3.2. Область применения

Подсистема медико-экологического аудита систем управления комплексной безопасностью экологически опасных объектов устанавливает основные принципы, процедуры, методы и средства медико-экологического аудита на экологически опасных объектах, предполагающие оценку соблюдения объектом аудита требований законодательства и нормативов в области охраны здоровья и жизни граждан.

В основе медико-экологического аудита лежит анализ результатов медико-экологической и санитарно-эпидемиологической экспертизы, экологического и социально-гигиенического мониторингов. Медико-экологический аудит может быть составной частью экологического аудита, а также использоваться самостоятельно при предпроектной оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС), в предсертификационном аудите систем управления окружающей средой, медико-экологической оценке системы экологической безопасности объектов, при экологическом страховании для оценки экологических рисков и величины возможного ущерба здоровью граждан при наступлении страховых случаев.

Исходная медико-экологическая и санитарно-эпидемиологическая информация до начала функционирования объекта является наиболее важной и достоверной базой при экологическом страховании для оценки величины возможного ущерба здоровью при наступлении страхового случая при эксплуатации объекта и после окончания его деятельности.

3.3. Основные критерии медико-экологического аудита. Надёжность результатов и выводов по аудиту

При проведении медико-экологической оценки системы безопасности необходимо иметь в виду особенности специфических факторов воздействия, относящихся к объекту.

Критерии оценки медико-экологической безопасности рассматриваются с позиций обеспечения безопасности человека. При этом интегральным наиболее объективным критерием оценки медико-экологической безопасности является здоровье человека. В качестве критериев оценки состояния здоровья, связанного с патогенным воздействием объекта, следует рассматривать симптомы и лабораторные показатели острой и хронической интоксикации не только химическими и другими ингредиентами, но и продуктами их трансформации.

При установлении причин массовых заболеваний или постановке этиологически полноценных индивидуальных диагнозов гражданам, проживающим в зонах влияния объекта, необходимо анализировать, в том числе, и токсикологию всех патогенных факторов в выбросах объекта. Выявление у граждан патогномичных симптомов или наиболее характерных при интоксикации тем или иным патогеном, поступающим с объекта, симптомокомплексов, должно сопровождаться обследованием граждан в специализированных стационарах.

В качестве интегральных критериев оценки заболеваемости граждан в связи с функционированием объекта следует рассматривать также показатели клинико-эпидемиологического анализа результатов инструментального, клинико-лабораторного обследования граждан, проживающих вблизи объектов, и персонала объекта. Клинико-эпидемиологический анализ является наиболее чувствительным инструментом как выявления ранних этапов патогенеза хронической интоксикации малыми дозами токсичных веществ, так и установления причин заболеваемости граждан.

Оказание качественной медицинской помощи работникам объекта и гражданам, проживающим в зонах возможной опасности (ЗВО), равно как и контроль качества окружающей среды в жилой зоне, – это обязательные элементы системы обеспечения безопас-

ности здоровья. Качество медицинской помощи также является критерием аудита.

Поликлиническое консультативно-диагностическое обследование граждан – консультирование и обследование граждан в диагностических центрах, специально созданных при территориальных лечебных учреждениях, с привлечением при необходимости специалистов профильных научно-исследовательских институтов, медицинских центров, лабораторий и специализированных лечебных учреждений в целях:

- 1) выявления заболеваний на ранних стадиях;
- 2) проведения экспертизы для установления связи заболеваний с функционированием объектов.

Базовые данные медико-экологического аудита могут быть получены на основе результатов проведения медико-экологической и санитарно-эпидемиологической экспертиз.

Процесс проведения экологического аудита должен быть спланирован так, чтобы обеспечить клиента и аудитора желаемым уровнем доверия к надежности результатов аудита и любым выводам по аудиту.

Данные, собранные в процессе экологического аудита, неизбежно будут представлять собой только выборочную информацию, имеющуюся в наличии, частично из-за того, что экологический аудит проводится в течение ограниченного периода времени и с ограниченными ресурсами. Поэтому здесь присутствует элемент неопределенности, присущий всем экологическим аудитам, и все пользователи результатов таких аудитов должны знать об этой неопределенности.

Аудитор в области экологии должен рассмотреть ограничения, связанные с аудиторскими данными, собранными во время аудита, и с признанием неопределенности в результатах аудита и всех выводах по аудиту, и учесть эти факторы при планировании и проведении аудита. Он должен попытаться получить достаточные аудиторские данные, чтобы принять во внимание существенные отдельные результаты аудита и совокупность менее существенных результатов, причем и те и другие могут влиять на любые выводы по аудиту.

3.4. Аудиторское заключение

Типовая структура медико-экологического аудиторского заключения с учётом специфики объектов по хранению и уничтожению химического оружия должна содержать аудиторскую оценку полноты, достоверности и соответствия нормативно-правовой базе данных аудита. Частью этих данных являются:

1) источники возможного загрязнения окружающей среды, их физико-химические и токсические свойства в штатных условиях и аварийных ситуациях. Наличие симптомокомплексов при острых и хронических воздействиях;

2) система производственного контроля. Методики, пределы чувствительности и пределы обнаружения, аппаратное обеспечение, точность, надёжность и эффективность, система отбора проб. Пространственное расположение средств контроля, режимы и условия отбора проб и измерений;

3) характеристики иных источников загрязнения окружающей среды в штатных условиях и аварийных ситуациях. Их пространственное расположение, физико-химические характеристики, области возможного загрязнения, время функционирования. Аппаратурно-методическое обеспечение пространственно-временной диагностики загрязняющих веществ, токсические свойства загрязняющих веществ. Наличие симптомокомплексов при острых и хронических воздействиях;

4) санитарно-гигиенические и токсикологические нормы загрязняющих веществ (как объекта, так и внешних по отношению к нему);

5) анализ материалов ОВОС, реальные выбросы и сбросы, места размещения отходов, характеристики отходов, токсичность, физико-химические свойства, разрешительная документация;

6) система социально-гигиенического мониторинга. Участвующие организации, цели, задачи, аппаратурно-методическая и кадровая оснащённость, функциональные связи, возможность принятия управленческих решений;

7) система медицинского обеспечения как на объекте, так и вне его;

8) основные демографические показатели за прошедшие 10 лет (дети, подростки, взрослые);

9) система экологического мониторинга. Участвующие организации, цели, задачи, аппаративно-методическое обеспечение, прямые и обратные связи с системой социально-гигиенического мониторинга, возможность принятия управленческих решений;

10) результаты установления «фонового» состояния здоровья персонала и населения в ЗВО до начала эксплуатации объекта.

11) результаты установления причинно-следственных связей между установленными заболеваниями персонала и граждан до начала эксплуатации объекта и в процессе его эксплуатации;

12) данные и результаты возможных аварийных ситуаций;

13) принятые управленческие решения.

Для диагноза экологически обусловленных заболеваний и установления причинно-следственных связей необходима уверенность в полноте, надёжности и эффективности результатов измерений характеристик внешнего воздействия на человека.

В основе оценки полноты, эффективности и достаточности системы измерений характеристик вредных воздействующих факторов для обеспечения санитарно-гигиенической и медико-экологической безопасности персонала и населения необходим утверждённый «Список приоритетных загрязнителей, подлежащих обязательному лабораторному (инструментальному) контролю по полной программе в зоне защитных мероприятий».

Критериями аппаративно-методического обеспечения измерений количественных показателей возможных вредных воздействующих факторов являются установленные нормативно-техническим требованиям по чувствительности точности и достоверности определения химикатов, подлежащих контролю.

К наиболее распространённым в настоящее время критериям оценки качества объектов окружающей среды (атмосферный воздух, пресные и морские воды, почва) относится обобщённый показатель – ПДК токсичного химиката (вредного вещества) в соответствующей среде.

Для специальных объектов, связанных с высокотоксичными веществами, разрабатываются специальные нормы, необходимость в которых определяется специально разработанными и утверждёнными нормативно-техническими документами.

Перечисленные показатели (критерии) являются традиционно нормируемыми. Среди них важное значение имеет нормируемый

расчётный показатель предельно допустимый выброс (ПДВ). Этот показатель должен обеспечивать на границе санитарно-защитной зоны уровень предельно-допустимой концентрации химического вещества по нормам среднесуточного значения для атмосферного воздуха населённых мест при неблагоприятных метеорологических условиях.

Измерение содержания химических веществ в объектах окружающей среды должен проводиться с учётом промышленных выбросов соседствующих с объектом промышленных предприятий, особенно если это предприятие химической и нефтехимической промышленности.

3.5. Данные медико-экологического аудита

Аудиторские данные – проверяемая информация, записи или заявления, касающиеся факта. Они могут быть качественными или количественными и использоваться для определения соответствия критериям аудита. Аудиторские данные обычно основываются на изучении документов, опросов, наблюдений, имеющихся результатов медицинских, санитарно-гигиенических заключений и физико-технических измерений факторов окружающей среды и других сведениях в объёме аудита.

Аудиторские данные (материалы) должны быть полными и достаточными для достижения цели аудита.

Следует остановиться на непродуктивности пассивного сравнительного анализа ситуации на контрольной территории. Подобный анализ заболеваемости с контрольной территорией, далекой от объекта, может не достичь основных целей аудита.

Действительно, параметр распространённости заболеваний на той или иной территории зависит от целого ряда показателей социального, медицинского, экологического и санитарно-эпидемиологического обслуживания данной местности, основными среди которых являются:

- 1) техногенная нагрузка на территорию, определяющая спектр патогенов, воздействующих на людей;
- 2) полнота и эффективность контроля качества окружающей среды;

- 3) полнота выявляемости заболеваний;
- 4) адекватность диагностики заболеваний;
- 5) эффективность профилактики, лечения и реабилитации.

Перечисленные показатели находятся в зависимости от целого ряда иных показателей, характеризующих качество и полноту оказания медицинской помощи, равно как и качество, и полноту санитарно-эпидемиологического и экологического обслуживания территории (например, укомплектованность учреждений здравоохранения квалифицированными кадрами и необходимым инструментарием).

Отличительной особенностью медико-экологического аудита является оценка действий должностных лиц и организаций в ситуациях, связанных с регистрацией сверхнормативных уровней токсичных веществ в объектах окружающей среды. Именно в таких ситуациях проявляются все свойства и качества системы обеспечения безопасности, и именно в подобных ситуациях можно выявить все лимитирующие стадии единого процесса обеспечения безопасности, отдельные этапы которого реализуют разные должностные лица и разные организации.

Медико-экологическая оценка может выполняться по данным санитарно-гигиенической и медико-экологической экспертизы.

Цели медико-экологической экспертизы:

- 1) доказательное установление причин массовых заболеваний химической и физической этиологии;
- 2) доказательная постановка индивидуальных, этиологически полноценных диагнозов;
- 3) обоснование принятия управленческих и правовых решений проблем массовых заболеваний граждан, обусловленных неблагополучием среды обитания. Подобные меры рассматриваются как необходимый элемент профилактики заболеваний.

В отличие от санитарно-эпидемиологической, в рамках медико-экологической экспертизы не рассматриваются многочисленные социальные факторы, влияющие на заболеваемость, чаще всего выступающие не в качестве причин, а в качестве условий развития заболеваний. Акцент в медико-экологической экспертизе делается на полноте исследования ситуации как в отношении качества среды обитания, так и в отношении заболеваемости жителей.

Медико-экологическая экспертиза может также проводиться как самостоятельная процедура при разработке ОВОС для создания систем управления окружающей средой, при проведении экологического аудита с целью установления фоновое состояние здоровья населения на стадии проектирования объекта и в условиях его эксплуатации.

Объекты медико-экологической экспертизы:

1) документы по результатам деятельности медицинской, экологической, санитарно-эпидемиологической служб, контролирующих качество среды обитания;

2) качество среды обитания граждан – на основании многофакторного инструментального контроля;

3) заболеваемость граждан, в том числе и на основании специализированного, клинико-лабораторного обследования в условиях стационара выборки граждан, проживающих на локальной территории, характеризующейся однородностью среды обитания;

4) причинно-следственные связи между загрязнением среды обитания и заболеваемостью граждан.

Отличие медико-экологической экспертизы от санитарно-эпидемиологической заключается в следующем. Санитарно-эпидемиологическая экспертиза регламентирована отечественным законодательством. В табл. 3.1 представлены сравнительные характеристики и медико-экологической (МЭЭ) экспертиз.

Контроль в окружающей среде всех патогенных факторов возможен, но дорог. В рамках медико-экологической экспертизы применяются две ресурсосберегающих технологии по доказательному решению проблем массовой заболеваемости граждан, обусловленной низким качеством окружающей среды:

Применение этих двух подходов позволяет:

1) выявить реальное количество заболеваний граждан и установить истинную структуру территориальной заболеваемости;

2) установить причины большинства наиболее характерных для той или иной территории массовых заболеваний граждан до и после работы объекта. Решение перечисленных задач позволяет избежать спекуляций, направленных на отнесение большинства заболеваний к заболеваниям, вызванным воздействием объекта.

Таблица 3.1

Данные по медико-экологической экспертизе

Параметры	Медико-экологическая экспертиза
Объекты	Причинно-следственная связь между загрязнением среды обитания и здоровьем граждан (на индивидуальном и популяционном уровнях)
Цели	<ol style="list-style-type: none"> 1. Установление причин массовых заболеваний граждан. 2. Установление причины заболевания каждого пациента. 3. Обоснование принятия надлежащих мер к выявленному источнику патогенов. 4. Рекомендации по проведению массовой профилактики заболевания. 5. Целевое, бесконфликтное, этиотропное и патогенетическое лечение на индивидуальном уровне с учётом иных заболеваний каждого пациента
Задачи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Установление патогенного источника. 2. Идентификация патогенного фактора в объектах окружающей среды на основании результатов многокомпонентного химического анализа объектов окружающей среды и с учётом патогенных выбросов территориальных источников. 3. Идентификация патогенного фактора и (или) его метаболитов, конъюгатов и аддуктов в биосредах пациентов. 4. Эпидемиологический анализ результатов официальной медицинской статистики. 5. Специализированное, клинико-лабораторное обследование пациентов, пострадавших от сверхнормативного загрязнения окружающей среды. 6. Клинико-эпидемиологический анализ результатов специализированного, клинико-лабораторного обследования выборки пациентов, пострадавших от сверхнормативного загрязнения окружающей среды, на основании проведения токсикоклинического и токсико-патогенетического анализа с применением базы данных по токсикологии. 7. Разработка методов и схем этиотропного и патогенетического лечения на индивидуальном уровне с учетом иных заболеваний каждого пациента. 8. Реализация методов и схем этиотропного и патогенетического лечения на индивидуальном уровне с учетом иных заболеваний каждого пациента

Продолжение табл. 3.1

Параметры	Медико-экологическая экспертиза
Методы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Документальный анализ. 2. Компьютеризированная геоинформационная система по представлению заболеваемости на оцифрованной электронной карте территории того или иного образования. 3. Методы многокомпонентного масс-спектрометрического анализа токсичных веществ в объектах окружающей среды (вода, воздух, почва) и токсичных веществ, их конъюгатов и аддуктов с биологическими молекулами в биосредах человека. 4. Методы классической эпидемиологии. 5. Методы клинической эпидемиологии и в том числе методы токсико-клинического и токсико-патогенетического анализа результатов клинико-лабораторного обследования представительных выборок детей с использованием современных баз данных по токсикологии. 6. Современные методы инструментального, клинико-лабораторного обследования детей в условиях стационара. 7. Модельный эксперимент по реконструкции прошлых событий, связанных со сверхнормативным загрязнением окружающей среды
Организация экспертизы	<p>Весь объем работ по экспертизе осуществляется в рамках одной организации, в условиях постоянного, профессионального взаимодействия «экологов» и «медиков» с возможностью постоянной коррекции как экологической, так и медицинской частей проекта</p>
Результаты	<ol style="list-style-type: none"> 1. Контроль эффективности принятых мер к источнику патогенов на основании результатов многокомпонентного химического анализа объектов окружающей среды и патогенных выбросов источника «на трубе». 2. Контроль эффективности лечения, как на индивидуальном уровне – по выздоровлению пациента, так и на уровне массовой заболеваемости – по результатам официальной медицинской статистики

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение экологического и медико-экологического аудита. В чём они схожи и чем различны?
2. Какова область применения медико-экологического аудита?

3. Из чего состоит комплекс нормативов оценки качества жизни?
4. Назовите основные критерии медико-экологического аудита.
5. Каковы процедура, методы и средства медико-экологического аудита?
6. Охарактеризуйте типовую структуру аудиторского заключения.
7. Каковы основные государственные стандарты по проведению экологического аудита?
8. Какие ресурсосберегающих технологии по доказательному решению проблем массовой заболеваемости граждан применяются в рамках медико-экологической экспертизы?

ГЛАВА 4

МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ АУДИТЕ

4.1. Основные принципы установления гигиенических регламентов в различных средах

В комплексе антропогенных воздействий на окружающую среду и здоровье человека особое место занимают многочисленные химические соединения, широко используемые в промышленности, сельском хозяйстве и других сферах производства. Воздействие химических соединений способно вызывать практически все патологические процессы и состояния.

Существует несколько принципиальных подходов к предупреждению негативных последствий воздействия вредных химических факторов окружающей среды на здоровье человека:

- полный запрет производства и применения тех или иных химических соединений или замена одного вещества на менее токсичное и опасное;
- исключение возможности их поступления в окружающую среду;
- ограничение содержания вредных химических веществ в объектах окружающей среды и гигиеническое нормирование уровней их воздействия на население.

Гигиеническое регламентирование – выполнение стандартного набора обязательных требований с целью обеспечения безопасного для здоровья человека производства или применения продукции.

Применительно к токсиколого-гигиенической оценке химических веществ выделяют следующие уровни регламентирования:

- санитарно-эпидемиологическое заключение, удостоверяющее соответствие санитарным правилам факторов среды обитания;
- государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы;

- ведение государственных регистров потенциально опасных для человека химических, биологических веществ и отдельных видов продукции;
- В обоснование выбора веществ, применительно к уровню их регламентирования положен поэтапный принцип:
- на первом этапе осуществляется сбор информации, необходимой и достаточной для решения вопроса о целесообразности проведения токсикологических исследований;
 - на втором этапе определяются вещества, нуждающиеся в разработке гигиенических нормативов;
 - на третьем этапе определяются очерёдность и объём исследований;
 - на четвёртом этапе принимается решение о разработке гигиенических нормативов на основе проведения токсиколого-гигиенических исследований.

Гигиенический норматив – минимальная или предельная величина количественного показателя, характеризующего отдельный физический, химический и биологический фактор окружающей среды или какое-либо их сочетание. Под гигиеническими нормативами понимают строго определённый диапазон параметров факторов среды, который приемлем для нормальной жизнедеятельности и здоровья человека, человеческой популяции и будущих поколений.

Нормирование загрязняющих веществ в природных биоценозах базируется на санитарно-гигиенических принципах и нормах, т.е. приоритетности защиты, прежде всего человека. Любые подходы к экологическому нормированию исходят из понятия допустимой нагрузки. В широком смысле под допустимым антропогенным воздействием на природную среду понимают воздействие, которое не влияет на качество природной среды или изменяет её в допустимых пределах, т.е. не разрушает существующие экосистемы и не вызывает неблагоприятных последствий у основных популяций, и в первую очередь, конечно, у человека.

Теоретическую основу гигиенического нормирования составляют общебиологические представления о пороговом действии на организм факторов окружающей среды. Возможные негативные эффекты для здоровья населения рассматриваются как пороговые (нестохастические, детерминированные), тяжесть которых варьи-

руется в зависимости от дозы и для которых существует порог вредного действия. В этом случае гигиенический норматив устанавливается по тому показателю, при котором наблюдается минимальный эффект.

При превышении безопасных уровней воздействия в организме человека развиваются патологические нарушения, проявляющиеся в форме острых, хронических заболеваний или отдалённых медицинских последствий (канцерогенное, мутагенное действие, ускоренное старение организма).

Гигиеническое нормирование – установление безопасных пределов интенсивности воздействия на организм человека факторов окружающей среды. Практическая составляющая гигиенического нормирования направлена на создание системы показателей опасности химических соединений. Под опасностью веществ в профилактической токсикологии понимают вероятность возникновения вредных для здоровья эффектов.

По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяются на четыре класса опасности: чрезвычайно опасные, высокоопасные, умеренно опасные и малоопасные.

В основе методологии гигиенического нормирования вредных факторов окружающей (и производственной) среды лежат принципы адекватного воспроизведения в экспериментальных условиях патологической реакции человека и экстраполяции (переноса) результатов лабораторных исследований на человека. Нормативы качества окружающей среды разрабатываются с учётом объекта защиты (человек, растение, технологическое оборудование); среды, в которой нормируется и контролируется содержание вещества (воздух, почва, вода, биосубстрат человека).

Законодательно устанавливаются ПДК химических веществ в воздухе производственных помещений и населённых пунктах (атмосферном воздухе), водоемках и питьевой воде, почве, допустимое суточное поступление химических веществ с продуктами питания, Объекты гигиенического нормирования условно классифицируют на две группы: антропогенного происхождения (для них устанавливаются предельно допустимые концентрации и уровни) и естественного происхождения.

В России, как и во многих странах мира, действуют два класса нормативов: стандарты – допустимые уровни содержания вредных

веществ в объектах среды обитания (утвержденные органами власти и имеющие силу закона) и рекомендуемые безопасные уровни загрязнения среды обитания.

При гигиеническом нормировании устанавливают стандарты, в частности:

- предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных химических примесей в воздухе (воде, почве, продуктах питания);
- предельно допустимый уровень (ПДУ) – норматив, аналогичный ПДК, разрабатываемый применительно к физическим факторам окружающей среды;
- предельно допустимый выброс (ПДВ) – выброс вредных веществ в атмосферу, устанавливаемый для каждого источника загрязнения атмосферы при условии, что приземная концентрация этих веществ не превысит ПДК.

В настоящее время санитарно-гигиенические нормативы существуют во всех экономически развитых странах.

В России разработано свыше семи тысяч нормативов допустимого содержания более чем 2000 веществ в различных компонентах окружающей среды. Большинство из них не используются на практике, так как контроль в атмосферном воздухе, питьевой воде, продуктах питания, почве проводится постоянно только за 20–30 веществами. В настоящее время предлагается перейти от дорогостоящей процедуры гигиенического нормирования к поэтапной оценке опасности приоритетных загрязнителей окружающей среды.

4.2. Экологически обусловленная заболеваемость и общие принципы её диагностики

В последние годы проблема установления связи между воздействием факторов окружающей среды и здоровьем человека выдвинулась в число наиболее актуальных и сложных проблем клинической и фундаментальной медицины. Один из важнейших аспектов данной проблемы – расшифровка этиологической обусловленности заболеваний человека.

Распознавание болезни и её тяжести является предметом клинической диагностики. Заболевания, присущие человечеству, дифференцируют на генетически обусловленные и вызываемые воздейст-

вием специфических факторов среды обитания (в части инфекции, травмы, интоксикации, радиационного поражения).

К экологически зависимым изменениям здоровья, связанным с антропогенным загрязнением среды обитания, относят:

- инфекционные заболевания (микробное загрязнение воды, воздуха и продуктов питания);
- злокачественные новообразования (воздействие асбеста, бензола, полициклических ароматических углеводородов, радиации);
- сердечно-сосудистые заболевания и заболевания органов дыхания (воздействие атмосферного воздуха с повышенным содержанием вредных веществ).

Распространённость экологически зависимых изменений состояния здоровья (табл. 4.1) обуславливает важность их своевременной диагностики.

Таблица 4.1

Экологически зависимые изменения состояния здоровья населения России

Экологический фактор	Причина смерти, заболевания и других нарушений здоровья	Число случаев, тыс. в год
Смертность		
Химическое загрязнение	Болезни органов дыхания и сердечно-сосудистой системы	40
Радон	Рак лёгких	4
Микробное загрязнение воды, продуктов питания	Кишечные инфекции	1,1
Аварии в промышленности	Смертельные исходы	0,4
Опасные природные явления	Смертельные исходы	0,08–0,9
Заболеваемость		
Микробное загрязнение воды, продуктов питания	Острые кишечные инфекции	400
Загрязнение атмосферного воздуха взвешенными частицами и диоксидом азота	Заболевания органов дыхания детей	До 240
Загрязнение атмосферного воздуха окислами азота	Заболевания органов дыхания детей	До 370
Загрязнение атмосферного воздуха свинцом	Отклонения нервно-психического развития детей	До 400
Радон	Рак лёгких	До 9

В связи с этим практически в рамках каждой клинической дисциплины сформировано экопатологическое направление, изучающее особенности развития и течения заболеваний или других патологических процессов на индивидуальном уровне в связи с воздействием неблагоприятных факторов окружающей среды. Так, например, экологическая генетика рассматривает воздействие этих факторов на генетический аппарат, экологическая иммунология прослеживает изменения в иммунной системе, экологическая пульмонология исследует особенности возникновения заболеваний органов дыхания при воздействии загрязненного атмосферного воздуха.

Соотношение между клиническими, субклиническими и бессимптомными формами заболевания колеблется в широком диапазоне в зависимости от специфических особенностей факторов окружающей среды, интенсивности, длительности и механизмов их воздействия.

В последние годы ведутся активный поиск и разработка объективных и информативных показателей ранних изменений в организме, обусловленных влиянием неблагоприятных факторов окружающей среды. *Гомеостаз* – динамическое относительное постоянство внутренней среды организма и устойчивость физиологических функций. Размах варьирования признаков в конкретных условиях определяется интенсивностью воздействия факторов окружающей среды на организм. В основе варьирования лежат генетически обусловленные реакции адаптационно-компенсаторного реагирования, направленные на поддержание гомеостаза и, следовательно, определяющие размах варьирования признака в пределах «нормы».

Адаптация обеспечивается определёнными биохимическими и физиологическими реакциями, происходящими на клеточном, органном, системном и организменном уровнях. Согласно теории адаптивного реагирования, в зависимости от силы внешнего воздействия в организме могут развиваться три типа адаптационных реакций: реакции тренировок – на слабые воздействия, реакции активации – на воздействия средней силы, стресс-реакции – на сильные воздействия.

На действие раздражителей (стрессоров) различной природы организм отвечает неспецифическими адаптационными изменениями,

комплекс которых получил название «общий адаптационный синдром». При продолжительном воздействии стрессора (или в условиях чрезмерной его интенсивности) происходят истощение и слом адаптационных механизмов.

Любое внешне воздействие на организм вызывает автономное реагирование определённой системы в пределах её функциональных возможностей. Когда же интенсивность или продолжительность негативного воздействия превышает возможности этой системы, они могут быть расширены, компенсированы за счёт включения в реагирование отдельных структур других систем организма.

Так как нормо- и патологические процессы – различные качественные проявления одного и того же процесса адаптационно-компенсаторного регулирования, болезнь можно рассматривать как результат сбоя адаптивных реакций на внешний раздражитель. С этой точки зрения большая часть болезней (в частности, нервные расстройства, гипертоническая болезнь, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки) – болезни адаптации, особенности приспособительных реакций.

С целью определения эффективности адаптационных процессов разработаны определённые критерии и методы диагностики, позволившие выделить различные переходные состояния между условной «нормой» и патологией (болезнью).

Выраженность патологических изменений определяется степенью нарушения компенсаторно-адаптационных реакций: донозологическое, преморбидное состояние и резкое снижение функциональных возможностей организма соотносятся с состояниями функционального адаптационного напряжения, неудовлетворительной адаптации и адаптационного срыва.

Донозологическое состояние – состояние функционального адаптационного напряжения организма, характеризующее переход от нормы к патологии.

Действие факторов риска на человека сугубо индивидуально, вероятность развития того или иного заболевания зависит от адаптационных возможностей организма. Факторы риска развития дезадаптации одновременно являются и факторами риска развития заболеваний, поскольку последние представляют собой следствие нарушения гомеостаза и срыва адаптационных механизмов.

Своевременное выявление переходных состояний, характеризующихся различной степенью дезадаптации организма к условиям окружающей среды, возможно на основе подходов, развиваемых в рамках донозологической диагностики. Оценка начала возникновения донозологических реакций на загрязнение окружающей среды имеет большое значение для анализа медико-экологической ситуации и прогноза её развития.

Механизмы адаптации при воздействии различных вредных факторов универсальны. Результаты исследований в плане популяционной диагностики позволяют уточнить механизмы начальных нарушений здоровья популяции. Так как внешним «маркером» этого напряжения экологической ситуации выступают грубые нарушения адаптации у отдельных лиц, то анализ истинно патологических изменений здоровья популяции позволяет с определённой вероятностью судить о возможном действии конкретных специфических факторов.

При проведении популяционной диагностики могут быть выявлены индикаторные предположительно экологически обусловленные болезни – заболевания соматического и другого характера среди населения конкретной территории, частота которых за определённый период времени достоверно выше предшествующего за 5–10 лет наблюдений (либо выше регионального, федерального уровня), а причина роста их предположительно может быть отнесена к действию известных местных (региональных) вредных факторов среды обитания.

Экологически обусловленная патология – болезни и патологические состояния, развивающиеся среди населения конкретной территории, причинно-следственно связанные с экологическими особенностями районов проживания, сформировавшимися под влиянием природных либо техногенных факторов среды обитания.

Специфическое экологически обусловленное заболевание – наблюдаемое среди населения конкретной территории заболевание, доказано связанное с воздействием конкретного вредного фактора среды обитания и проявляющееся характерными для действия причинного фактора симптомами и синдромами.

К специфическим, экологически обусловленными природными факторами среды обитания, относятся так называемые эндемические заболевания:

- природно-очаговые инфекционные (паразитарные) заболевания;
- болезни различных «биогеохимических провинций», связанные с избытком или недостатком содержания отдельных химических элементов в объектах среды обитания и их дисбалансом в организме человека.

Природно-очаговые инфекционные заболевания – болезни, возбудители которых постоянно циркулируют в природном очаге. К природно-очаговым инфекционным заболеваниям относятся, в частности, сибирская язва, чума, клещевой энцефалит.

Массовые экологически обусловленные заболевания химической этиологии могут проявляться в виде:

- повышенного, по сравнению с фоном, уровня заболеваемости, вследствие воздействия вредного химического фактора, способствующего обострению имевших место заболеваний (например, сердечно-сосудистой, дыхательной систем);
- постоянно-возникающих и повторяющихся эндемических болезней в определённых географических районах, вследствие дисбаланса концентраций микро- и макроэлементов и воздействия вредных химических веществ, поступающих в организм в определённых дозах;
- увеличения числа редко встречающихся заболеваний;
- появления «новых» для данного региона болезней, являющихся результатом количественного накопления химических веществ и возникновения нового качественного состояния.

Обнаружение этих заболеваний и установление причинно-следственной связи осуществляются в процессе медико-экологической оценки изменений здоровья населения на основе комплексного эколого-гигиенического мониторинга и комплексной эколого-гигиенической экспертизы.

Гигиено-эпидемиологическая (или популяционная гигиеническая) диагностика массовых заболеваний неинфекционной природы – совокупность приёмов и методов, с помощью которых устанавливается причина возникновения «напряжённости» или «неблагополучия» медико-экологической ситуации на соответствующей территории.

Гигиено-эпидемиологическая диагностика направлена на выделение наиболее существенных вредных факторов, оценку степени

ущерба здоровью популяции и изменения условий жизни людей, оценку динамики развития событий, а также прогноз на перспективу. Определение существа патологии, её гигиенических и эпидемиологических характеристик: времени появления («время риска»), динамики развития, границ неблагополучной территории («территории риска») и «групп риска».

Время риска – временная вероятность возникновения негативных изменений здоровья населения или отдельных социальных групп в связи с неблагоприятными изменениями среды обитания.

Группа риска – социальная группа населения, на которую оказано или может быть оказано наибольшее воздействие неблагоприятных вредных факторов с дальнейшим отклонением состояния здоровья от контрольного уровня.

Детское здоровье является одним из наиболее чувствительных показателей, отражающих изменения качества окружающей среды. Риск ухудшения детского здоровья под воздействием вредных факторов обусловлен особенностями обмена веществ растущего организма.

В табл. 4.2 приведена оценочная шкала неканцерогенных токсических эффектов, разработанная Агентством по окружающей среде США с учётом групп риска и используемая для экологической диагностики.

Таблица 4.2

Оценочная шкала неканцерогенных токсических эффектов

Биоэффекты на токсическое воздействие	Баллы
Раздражение слизистой оболочки носа и глаз, увеличение активности ферментов	1
Нарушения психоэмоционального характера; незначительные нарушения функции почек, внешнего дыхания; увеличение массы тела новорождённого	2
Низкая масса тела новорожденного, увеличение артериального давления, хронические заболевания органов дыхания и пр.	3
Структурные изменения в лёгких, стенокардия и пр.	4
Повреждение плода, нарушение способности к обучению, нейропатии и пр.	5
Тератогенный эффект, задержка умственного развития, некроз почек и пр.	6

Региональная патология, обусловленная вредными факторами среды обитания, выявляется методом гигиено-эпидемиологиче-

ского анализа здоровья всего населения региона. В его основе лежат экспертное исследование и анализ динамики отклонений уровней как отдельных показателей (характеризующих состояние здоровья популяции или отдельных социальных групп), так и общих медико-демографических характеристик от среднего – «фонового», «регионального» или «контрольного».

После уточнения причинных факторов развития той или иной патологии из перечня установленных «лидирующих» болезней выделяются «экологически обусловленные» (или «экологически зависимые») болезни. Под *лидирующей патологией* подразумевают болезни различных классов международной классификации болезней, показатели которых на изучаемой территории стабильно (на протяжении ряда лет) достоверно превышают фоновые, но причина их роста (или высокого уровня) до определенного времени не установлена. В составе «лидирующей» патологии могут оказаться как установленные в результате анализа причинно-следственных связей «экологически обусловленные» заболевания, так и болезни, обусловленные другими факторами.

В случае наличия в среде обитания известных вредных (преимущественно химических) факторов выделяется «специфическая экологически обусловленная» патология, а в случае не полной причинной доказанности действия на людей конкретного вредного фактора – «условно специфическая». «Экологически обусловленные» болезни (как и «условно специфические») выявляются на последующих этапах исследований после обнаружения в среде обитания приоритетных «экотоксикантов» и проведения анализа причинно-следственных связей в системе «среда – здоровье».

4.3. Методы эпидемиологического анализа в медико-экологических исследованиях системы «здоровье человека – среда обитания»

Эпидемиологию определяют как совокупность научных подходов оценки здоровья населения в контексте выявления факторов, определяющих возникновение и распространение заболеваемости среди различных групп населения.

В современных эпидемиологических исследованиях в зависимости от конкретных целей выделяют следующие направления:

- традиционная эпидемическая диагностика инфекционных заболеваний;
- изучение эпидемиологии отдельных нозологических форм или групп болезней (например, сердечно-сосудистые заболевания, злокачественные новообразования, эндокринные и другие болезни);
- популяционная диагностика влияния на здоровье населения конкретных факторов внешней среды, в том числе техногенно обусловленных, как составная часть комплексных эколого-гигиенических исследований.

В зависимости от этиологического (причинного) фактора возникновения болезни выделяют инфекционную и неинфекционную эпидемиологию. В последние два десятилетия (вначале как ветвь эпидемиологии неинфекционных заболеваний, а затем как самостоятельное научное направление) сформировалась *экологическая эпидемиология*, направленная на изучение, анализ и доказательство зависимости здоровья населения от состояния окружающей среды.

Предметом эпидемиологии является эпидемический процесс – возникновение и распространение любых патологических состояний среди людей. Сущность *эпидемического процесса при инфекционных заболеваниях* можно выразить в схеме эпидемической цепи (источник инфекции – пути передачи – восприимчивые контингенты), где существуют тесные связи и взаимодействия: своеобразным *эпидемическим процессом в экологической эпидемиологии* является «напряжённость» (неблагополучие) медико-экологической ситуации, где «этиология» рассматривается как причина экологически обусловленных заболеваний. Основной задачей экологической эпидемиологии является *эпидемиологическая диагностика* – распознавание проявлений заболеваемости населения на основе эпидемиологических методов исследования и научных данных о причинах, условиях, механизмах возникновения и распространения заболеваемости.

Эпидемиологическая диагностика представляет собой совокупность методических приёмов, позволяющих на основе анализа установить особенности распространения заболеваний среди населения, причины и конкретные природно-социальные условия, влияющие на заболеваемость.

Эпидемиологическая диагностика осуществляется на основе эпидемиологического анализа и обследования очага. Для решения стоящих задач используется эпидемиологический анализ, включающий в себя описательно-оценочные, аналитические, экспериментальные и математические методы исследования.

Целью аналитических методов исследования является проверка гипотез о факторах риска, выявленных описательно-оценочными методами, и определение направлений профилактики. Для этого используют, в частности, когортный метод, предусматривающий продолжительное наблюдение за группами населения, подвергающимися и не подвергающимися действию подозреваемого фактора риска. Методы математического моделирования в качестве составной части используются на всех этапах эпидемиологического анализа. Математическое моделирование осуществляется на основе соотношений, выводимых из цифрового материала, характеризующих фактическое проявление эпидемиологического процесса, и на основе использования математических формул, параметрами которых являются конкретные факторы риска (количественное моделирование).

Основные эпидемиологические показатели, используемые при проведении эпидемиологического анализа, – *показатель распространённости заболеваний*, характеризующий долю населения с тем или иным заболеванием в конкретный момент времени, и *коэффициент заболеваемости*, характеризующий частоту возникновения новых случаев заболевания в течение определённого периода времени.

Окончательное заключение об экологической обусловленности тех или иных изменений в состоянии здоровья популяции, а следовательно, и об уровне напряженности медико-экологической ситуации, формулируется при доказанности причинно-следственных связей в системе «человек – среда обитания».

4.4. Социально-гигиенический мониторинг – инструмент комплексной динамической оценки явлений и факторов в системе «среда обитания – здоровье человека»

Социально-гигиенический мониторинг (СГМ) – государственная система наблюдений за состоянием здоровья населения и среды

обитания, их анализа, оценки и прогноза, а также определения причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием факторов среды обитания.

Предметом социально-гигиенического мониторинга являются закономерности и причинно-следственные связи между показателями здоровья и факторами среды обитания населения. Объект социально-гигиенического мониторинга – среда обитания и жизнедеятельности, источники техногенного воздействия, социальная инфраструктура, здоровье населения.

Выбор показателей, характеризующих состояние здоровья населения, окружающей среды и социально-экономических условий, за которыми организуется наблюдение в социально-гигиеническом мониторинге, представляет достаточно сложную задачу, так как должен сочетать в себе простоту получения и информативность, а также учитывать территориальную неоднородность воздействия на население природных и техногенных факторов.

4.5. Геоинформационные технологии в эколого-гигиенических исследованиях

В последнее время в эколого-гигиенических исследованиях всё активнее применяются новые технологии, позволяющие количественно учитывать влияние этих факторов на здоровье людей, прогнозировать развитие медико-экологической обстановки.

Качество проведения санитарно-гигиенического мониторинга и эколого-гигиенической экспертизы во многом зависит от эффективности применяемой для этих целей информационной технологии. Одним из определяющих обстоятельств, влияющих на выбор информационных технологий, соответствующих целям и задачам эколого-гигиенических исследований, является исключительная значимость пространственно-временной характеристики для анализа данных о среде обитания и здоровье населения. Медико-географическое картографирование позволяет устанавливать территориальные различия, связанные с их биогеохимическими особенностями и неравномерностью распределения промышленного потенциала в регионах и населённых пунктах, что делает его незаменимым в процессе сбора и анализа информационных материалов

при проведении социально-гигиенического мониторинга и медико-экологической экспертизы.

Традиционно для целей пространственного анализа применяли картографический метод. В последние десятилетия на базе картографии, математики, кибернетики и использования электронно-вычислительных средств активно развивается новая область – географическая информатика (геоинформатика).

В 1970-е гг. были заложены основы компьютерной картографии. В этот период внимание и усилия исследователей в основном были сосредоточены на создании качественных цифровых карт с использованием графических объектов, представленных множеством координат. В 1980-х гг. на основе объединения картографической информации и традиционных баз данных появились первые системы управления пространственными данными, а в 1990-х – интеллектуальные информационные системы, использующие разнообразные мультимедийные возможности.

К настоящему времени геоинформационные системы фактически приняты в качестве стандартного программного средства при анализе пространственного распределения данных.

Географические информационные системы представляют собой аппаратно-программный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координационных данных, интеграцию сведений и знаний о территории для их эффективного использования при решении прикладных задач, связанных с анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества.

Ядром геоинформационных систем является цифровая карта, содержащая данные о пространственных объектах в виде их цифровых представлений, объединённых в набор слоёв, образующая информационную модель определённой территории, а также набор операций, определяющих их функциональные возможности по восприятию, преобразованию и анализу информации.

Кроме графического отображения объектов содержатся сведения, включающие: название объекта и его идентификатор; описательную информацию в виде символов и надписей, хранящихся в специальной таблице атрибутов; количественную информацию (в частности, о площади объекта, концентрации вещества, измерен-

ной в точке, количестве заболевших в районе). Все собранные и упорядоченные сведения в дальнейшем могут воспроизводиться как в исходном виде, так и в качестве различных статистических показателей (например, в виде средних значений, доверительных интервалов).

Геоинформационные системы находят всё более широкое применение для изучения пространственных аспектов влияния экологических факторов риска и охраны здоровья населения при выполнении комплексных медико-экологических исследований, установлении приоритетных загрязнителей и определении степени их влияния на заболеваемость и смертность населения.

Учитывая открывающиеся возможности по организации сбора, анализа и представления данных о состоянии здоровья населения и среде его обитания, связанные с развитием геоинформационных технологий, разработаны концептуальные основы организации социально-гигиенического мониторинга с использованием геоинформационных систем.

К основным функциям, которые геоинформационные системы предназначены выполнять в рамках социально-гигиенического мониторинга, относят создание и актуализацию в режиме реального времени баз данных о состоянии здоровья и среды обитания человека в единых форматах (информационный фонд), с «привязкой» их к конкретному объекту на местности, моделирование стратегий санитарно-эпидемиологического надзора, прогнозирование состояния санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение гигиеническому регламентированию и нормированию.
2. Каковы принципы установления гигиенических регламентов в различных средах?
3. Назовите виды гигиенических нормативов.
4. Что означают понятия ПДК, ПДУ, ПДВ?
5. Определите содержание социально-гигиенического мониторинга.
6. Что такое экологически зависимые изменения здоровья?
7. Дайте определения эпидемическому процессу и диагностике.

ГЛАВА 5

ДОКАЗАТЕЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА. ЮРИДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Медицина как наука изучает биологические параметры человека в норме и при патологии, изменение нормы под влиянием различных факторов окружающей среды.

Несмотря на бурный прогресс фундаментальных медико-биологических наук, наши знания о человеке не носят и, наверное, никогда не будут носить исчерпывающий характер. Реакции организма и окружающая его природная и социальная среда настолько многообразны и многофакторны, что их воздействие и взаимодействие порой трудно прогнозируемы. Люди живут в разных климатических условиях, под воздействием различных факторов природной и социальной среды. В связи с этим только на основании теоретических знаний о болезни и ее развитии (знаний всегда неполных) нельзя создать эффективный и безопасный метод лечения. В то же время в практической медицине долгие годы доминировал эмпирический подход, суть которого состояла в применении методов диагностики и лечения, эффективность которых была обоснована преимущественно теоретически. Руководством для врачей служили их собственный опыт врачевания и труды древних авторитетных философов, медиков и алхимиков.

Концепции доказательств в медицине уходят к середине XIX в., когда было введено понятие «доказательная медицина» и сформулированы основные её принципы. Что такое медицина, основанная на доказательствах (доказательная медицина, evidence-based medicine)? Это корректное использование в медицинской практике надежных научных доказательств по приемлемости и эффективности новых лечебно-диагностических процедур. Основная цель доказательной медицины – установление и устранение причины болезни с использованием статистических методов исследования. При этом новые лечебно-диагностические процедуры, внедряемые в практику, прежде чем получить разрешение к практическому применению, должны пройти достаточно обширные рандомизированные контролируемые исследования.

Успехи, достигнутые мировой медициной, напрямую связаны с уровнем затрат на собственно медицину и на научные и образовательные цели. Состояние здоровья населения существенно зависит от уровня научных исследований в данной стране и квалификации медицинских кадров. Обоснованность принимаемых решений в настоящее время оценивается с помощью статистических методов анализа эмпирических данных.

За последнее время изменился стиль научных исследований. Наиболее значимым является широкое применение методов математического моделирования. Математически корректно сформулированная задача позволяет лучше понять сущность проблемы. Зачастую успех или неудача решения специфической проблемы предопределены уровнем математического аппарата, используемого исследователем. Математические модели представляют собой один из способов описания окружающей действительности, отличаясь от других способов описания значительной степенью абстракции, что приводит к универсализации методов при любом прикладном исследовании. Математические методы позволяют эффективно структурировать и анализировать большие объемы информации, накапливаемые в различных областях знаний. К наиболее важным математическим разделам, используемым в медицине, относится статистика.

Современные компьютерные программы призваны оказать эффективную помощь исследователю. Использование программ (в частности, статистических пакетов прикладных программ) расширяет возможности при решении прикладных задач. Следует также отметить, что с ростом компьютерных технологий роль математики во всех дисциплинах ещё больше усиливается, так как появляется возможность реального применения сложных математических процедур, ранее недоступных для практической реализации.

За последние годы появились новые научные данные по методологии и методическим подходам гигиенической диагностики, оценке и прогнозированию состояния здоровья людей при воздействии факторов окружающей среды, сформулированы базисные подходы для распознавания донозологических состояний, определены пути совершенствования профилактической медицины.

5.1. Методология экогигиены

Объектами изучения гигиены являются как отдельный здоровый человек, так и коллективы практически здоровых людей. Категория, характеризующая состояние практически здорового человека и коллектива здоровых людей, – здоровье, отражающее динамическое равновесие между организмом и окружающей средой. Основная и специфическая цель гигиены – познание законов и закономерностей взаимодействия здорового человека, здоровых коллективов, популяции населения с естественной и изменчивой окружающей средой. На основании этого разрабатываются способы и средства, обеспечивающие сохранение и укрепление человеческого сообщества. Гигиена включает в себя ряд самостоятельных дисциплин (среди которых, в частности, общая, социальная, радиационная, санитарно-токсико-логическая, экологическая).

Экологическая гигиена (экогигиена) отличается от других дисциплин масштабом изучаемых явлений. Объектами исследования являются человек и человеческие популяции. Предмет изучения – здоровье человека и популяции; цель – сохранение, укрепление и приумножение здоровья.

Гносеологические проблемы экогигиены решаются в методологическом и методических аспектах – здоровье, профилактика, окружающая (внешняя по отношению к человеку) среда, образ жизни.

Что же такое здоровье? Существует более ста определений здоровья, что связано со сложностью феномена и различием целей достижения конкретных показателей здоровья. Определение должно содержать возможность его количественного измерения. Необходимость количественного измерения здоровья очевидна, ибо нельзя до конца понять сущность феномена, спрогнозировать его изменение и определить стратегию управления здоровьем без соответствующей количественной информации. Здоровье имеет множество уровней, и в практическом отношении чаще всего требуется не измерять его максимум, т.е. «идеал», а учитывать объективные реальности сегодняшнего дня.

Здоровье на индивидуальном уровне представляет собой такое состояние структуры, функции и адаптационных резервов, которые обеспечивают человеку жизнь в данное время, в данной конкрет-

ной среде. Задача заключается в том, чтобы измерить эти состояния, выразить количественными показателями или единым показателем. Эти критерии реализуются пока посредством негативной компоненты здоровья, т.е. посредством «болезни». При этом измеряется не количество здоровья, а величина его утраты, и здоровье определяется, по сути, как отсутствие болезни, чем нарушается один из методологических принципов познания, согласно которому нельзя доверять определениям, основанным на отражении негативных категорий сущности.

Для оценки структуры используются показатели физического развития, для оценки функций – показатели физического и умственного состояния; адаптационные резервы оцениваются по многочисленным биохимическим, иммунологическим, эндокринологическим и другим показателям. Их выбор не стандартизован и во многом зависит от позиции исследователя, его подготовленности и методических возможностей. При определении мощности здоровья используются показатели болезненности или морбидности. В статистике ими обозначалась распространенность заболеваний, выражаемая как отношение числа всех заболеваний за год, умноженного на тысячу, к средней численности населения. Существует понятие как индивидуального, так и «общественного здоровья», с социально значимыми критериями.

Так как здоровье в первую очередь зависит от условий жизни, окружающей природной и социальной среды, одной из основных проблем экогигиены является изучение состояния этих сред, их влияния на здоровье.

Исследование состояния окружающей среды и её взаимодействия с человеком – сложная задача, решение которой стало социальным заказом новой науке – экологии. Экология сформировалась в конце прошлого столетия и получила свое первоначальное оформление и название в трудах Э. Геккеля, в частности в его работе «Всеобщая морфология организмов» (1866 г.).

Первоначально экология рассматривалась как чисто биологическая наука, изучающая взаимоотношения животного и растительного мира друг с другом и с окружающей неорганической природой. В двадцатые годы прошлого столетия в эти взаимоотношения включили человеческие сообщества или биоантропоценозы с их социальными атрибутами. Возникла «социальная экология» или

«экология человека». Развитие научно-технического прогресса обусловило воздействия на окружающую среду в масштабах, сравнимых с геологическими. Эти представления о социальной экологии трансформировались в представления о механизмах согласованности антропогенных потоков энергомассообмена с природными круговоротами вещества и энергии в рамках целостной биосферы, точнее, ноосферы.

Цель этого учения – оптимизация названной согласованности и создание единой социоестественной системы взаимосвязей. Внесение антропогенного начала во взаимодействие систем, изучавшихся классической экологией, неизмеримо усложнило и расширило круг проблем. В настоящее время экология рассматривается как специфический общенаучный подход, направленный на изучение природы и общества. В практическом плане проблемы экологии решаются, главным образом, в области, так называемой охраны окружающей среды, т.е. прикладной части экологии.

В таком виде экология вошла в программы действий на национальном и международном уровнях. Экогигиена устанавливает природу факторов и сущность их действия на организм человека, определяет границы их отрицательного и положительного влияния, т.е. гигиенические нормативы.

При проведении медико-экологического исследования на первом этапе всегда необходимо сформулировать комплекс показателей состояния здоровья, обеспечивающих оценку здоровья от донозологических до патологических состояний.

Методологическая и методическая база донозологической диагностики в настоящее время находится в стадии становления и активного развития. Приоритет принадлежит оценке состояния адаптационных резервов организма, что позволяет выявить начальные стадии перехода от здоровья к болезни, когда существенные нарушения функции, и тем более структуры, отсутствуют.

Исходя из практики медико-экологических исследований, можно выделить следующие группы показателей: показатели адаптационных резервов организма (в частности, физиологические, иммунологические, биохимические, гематологические); показатели функционального состояния (по клиническим симптомам и синдромам заболеваний); неспецифические показатели; показатели социального состояния.

В связи с появлением и развитием показателей здоровья, имеющих количественное выражение и, безусловно, статистический характер распределения, для их анализа и обработки в доказательной медицине используются элементы теории вероятности и математической статистики.

5.2. Использование статистических методов при оценке ущерба здоровью населения от воздействия факторов среды обитания

5.2.1. Виды статистических распределений показателей здоровья населения

Нормальное распределение

Показатели здоровья являются случайными величинами. Один из основных критериев влияния на здоровье негативных факторов окружающей среды (ОС) – различие статистических множеств показателей здоровья в исследуемом и контрольном районах.

Под контрольным районом подразумевается территория, на которой предположительные экологические факторы воздействия отсутствуют. Остальные характеристики окружающей среды и здоровья населения в исследуемом и контрольном районах однотипны.

Отсутствие экологически приоритетных факторов воздействия в контрольном районе устанавливается сравнением экологических показателей качества ОС (вода, воздух, почва, продукты питания) и результатов анализа содержания приоритетных экотоксикантов в биосубстратах (кровь, моча, волосы, ногти) населения, проживающего на сравниваемых территориях. В связи с этим необходимо знать виды и параметры возможных статистических распределений показателей здоровья, определить критерии совпадения статистических множеств.

Статистический анализ множества реальных частотных распределений показателей здоровья на организменном, органном, системном и биохимическом уровнях показал возможность существования трёх видов статистических непрерывных распределений: нормальное (распределение Гаусса), логарифмически нормальное (логнормальное) и асимметричное полимодальное.

Непрерывная случайная величина L называется нормально распределенной с параметрами m и s ($m, s = \text{const}, s > 0$), если её функция плотности распределения $P(L)$ имеет вид

$$P(L) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\cdot\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(L-m)^2}{2\cdot\sigma^2}\right), \quad (5.1)$$

где $m = M(L)$ – математическое ожидание (среднее); σ^2 – дисперсия; $s = \sqrt{\sigma^2}$ – среднеквадратическое отклонение. График функции $P(L)$ называют нормальной кривой, или кривой Гаусса. В точке $L = M$ кривая имеет максимум, а точки $L = M \pm \sigma$ являются точками перегиба кривой, которая симметрична относительно $L = M$ (рис. 5.1).

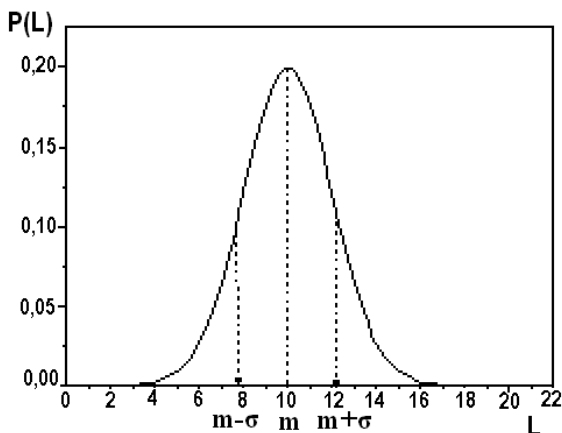


Рис. 5.1. Функция плотности нормального распределения

Вид кривой Гаусса зависит от значений M и σ ; значения M сдвигают кривые конгруэнтно, значения σ изменяют форму кривой. С увеличением σ кривая становится более пологой, с уменьшением – более узкой. Распределение $L = N$ ($M = 0, \sigma = 1$) называют стандартным нормальным распределением.

Логарифмически нормальное (логнормальное) распределение

Случайная величина L имеет логнормальное распределение, если $\ln(L)$ соответствует нормальному распределению, или, если величина x имеет нормальное распределение, то величина $y = \exp(x)$ имеет логнормальное распределение

Плотность логнормального распределения

$$P(x) = \frac{1}{\sigma \cdot x \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(\ln(x) - \ln(a))^2}{2 \cdot \sigma^2}\right), \quad x > 0 \quad (5.2)$$

показана на рис. 5.2.

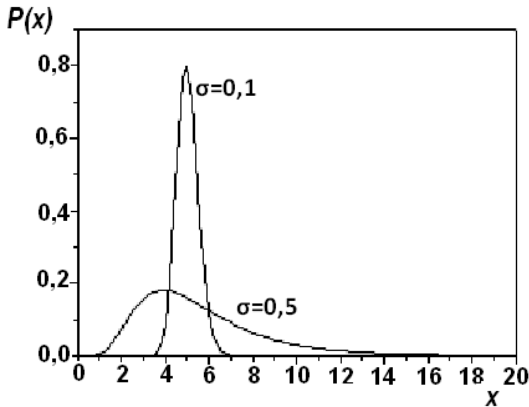


Рис. 5.2. Функция плотности логарифмически нормального распределения (дисперсия $D = a^2 \cdot \exp(\sigma^2) \cdot (\exp(\sigma^2) - 1)$)

Асимметричное полимодальное распределение

Согласно опубликованным в литературе экспериментальным данным, а также результатам клинических обследований населения, проживающего вблизи химически опасных объектов, частотные распределения физиологических показателей (в дальнейшем – показатели) при клинических обследованиях могут представлять собой асимметричные кривые, не соответствующие в общем случае закону нормального распределения. Однако, несмотря на это, для удобства статистической обработки делается априорное допущение о соответствии этих распределений нормальному закону.

Частотные распределения показателей, в большинстве случаев встречающиеся на практике, трудно разделить на области «нормы» и «патологии», так как они чётко не разделяются на дихотомические и тем более полимодальные (хотя явное разделение наблюдается в редких случаях) не имеют различных выделенных пиков, из которых один соответствовал бы «нормальному» состоянию здоровья, а другой – «патологическому».

На практике анализируются показатели «смешанных» групп людей, и одни и те же показатели для «больных» и «здоровых» перекрывают друг друга. Это обстоятельство типично для частотных распределений показателей.

В случае заметного «вырождения» фактического распределения показателя в сторону дихотометрии или полимодальности, особенно при наблюдении областей показателей, лежащих за пределами установленных численных пограничных нормативов, возможно и целесообразно разделять «смешанную» функцию распределения (смешанную по «норме» и «патологии») анализируемого показателя на отдельные функции распределения – для «нормы» и «патологии». Для каждой группы таких условных категорий состояния здоровья функция распределения показателя предполагается соответствующей нормальному распределению.

Такое разделение целесообразно проводить при анализе причинно-следственных связей заболеваемости и источников негативного влияния, для раздельного изучения «нормальных» и «патологических» групп.

Предположим, что $P(L)$ непрерывная функция распределения частоты P по значению показателя L . При увеличении числа наблюдений P можно рассматривать как величину, приближающуюся к плотности вероятности наблюдения показателя. При этом область изменения накопленной вероятности соответствует интервалу $[0,1]$, а область изменения показателя L в общем случае не ограничена, т.е. может изменяться от $-\infty$ до $+\infty$.

В соответствии с принятыми условиями такую функцию можно разложить в ряд по функциям Гаусса:

$$P(L) = \sum_{i=1}^n g_i \cdot P_i(L), \quad (5.3)$$

где n – количество членов разложения, достаточное для требуемой точности аппроксимации разложения (1); i – порядковый номер члена разложения; $P_i(L)$ – i -я функция Гаусса, имеющая свои индивидуальные параметры – дисперсию $\sigma_{L_i}^2$ и среднее значение \bar{L}_i ; g_i – константа – весовой множитель i -го члена разложения, представляющий собой полную вероятность наблюдения показателей i -го члена разложения.

В соответствии со свойствами функции Гаусса и определениями математической статистики параметры распределения можно отыскать следующим образом:

$$\bar{L} = \int_{-\infty}^{+\infty} L \cdot P(L) dL, \quad (5.4)$$

$$\sigma_L^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} P(L) \cdot (L - \bar{L})^2 dL, \quad (5.5)$$

$$\alpha = \int_{L_\alpha}^{+\infty} P(L) dL, \quad (5.6)$$

где L_α – значение показателя L , выше которого вероятность иметь значение $L \geq L_\alpha$ равна α (α – накопленная вероятность). Выражения (5.4)–(5.6) справедливы для произвольного вида гладкой кривой $P(L)$.

Аналогичным образом записываются выражения (5.4)–(5.6) для каждого члена разложения (5.3):

$$\bar{L}_i = \int_{-\infty}^{+\infty} L \cdot P_i(L) dL, \quad (5.7)$$

$$\sigma_{L_i}^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} P_i(L) \cdot (L - \bar{L}_i)^2 dL, \quad (5.8)$$

$$\alpha_i = \int_{L_{\alpha_i}}^{+\infty} P_i(L) dL. \quad (5.9)$$

Условия нормировки для выражения (5.3)

$$\int_{-\infty}^{+\infty} P(L) dL = \int_{-\infty}^{+\infty} P_i(L) dL = 1, \text{ т.е., } \sum_{i=1}^n g_i = 1. \quad (5.10)$$

Так как каждый член разложения (5.3) представляет собой нормальное распределение, сохраняется возможность оперировать с каждым членом разложения параметрами нормального распределения.

Зная статистические параметры i -го члена разложения, после определенных преобразований нетрудно отыскать статистические параметры «смешанного» распределения:

$$\bar{L} = \sum_{i=1}^n g_i \cdot \bar{L}_i, \quad (5.11)$$

$$\sigma_L^2 = \sum_{i=1}^n g_i \cdot \sigma_{L_i}^2 + \sum_{i=1}^n g_i \cdot (\bar{L}_i - \bar{L})^2, \quad (5.12)$$

т.е. среднее значение \bar{L} и дисперсия σ_L^2 полного распределения $P(L)$ легко отыскивается по соответствующим характеристикам гауссовых членов разложения с учетом их весовых коэффициентов g_i .

Проведённый таким образом анализ результатов биохимических обследований, в частности крови, показал, что в случаях заметного количества пациентов, у которых часть показателей лежит существенно вне областей нормы (ниже и выше нормы), достаточно трех членов разложения.

В ряде случаев функция распределения может быть аппроксимирована одним членом разложения (5.3), когда области «нормы» и «патологии» практически конгруэнтны или области «патологии» не наблюдаются.

Таким образом, представленный подход является развитием применения методов математической статистики в теории доказательной медицины, расширяющим возможности математической обработки данных физиологических клинических измерений. Полимодальная статистическая модель точнее отражает количественные и качественные представления. Традиционно используемое на практике допущение об одномодальном (нормальном) распределении физиологических показателей – частный случай изложенного подхода. Это обобщение позволяет учесть «хвосты» реальных распределений и, таким образом, «патологические» области так же, как и «нормальную» область показателей, характеризовать средними значениями и дисперсиями, соответствующими нормальным членам разложения.

Ниже для примера практической реализации этого подхода представлены реальные функции распределения и параметры их

аппроксимации для некоторых показателей крови. Общее число обследованных составляет 84 чел. (рис. 5.3–5.5). Нормативы физиологических показателей для различных возрастов одинаковы.

Поиск членов ряда разложения представляет собой в существенной степени искусство исследователя. Первым этапом является оценка возможности аппроксимации частотного распределения одной функцией Гаусса, как, например, на рис. 5.1. Здесь дискретные наблюдения в правом «хвосте» соответствуют 3 чел., и ими пренебрегается при дальнейшей аппроксимации ввиду их малости в общем множестве наблюдений.

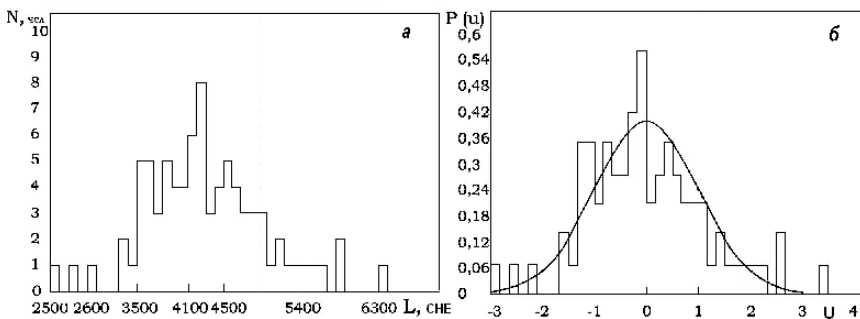


Рис. 5.3. Частотное распределение показателя крови «Холинэстераза», L :

a – гистограмма, построенная по реальным данным суммированием числа обследованных N , имеющих значение показателя L в равных интервалах шириной 100 ед. СНЕ: $N = f(L)$;

$б$ – плотность вероятности как функция безразмерного показателя $U = (L - L_{cp})$, гистограмма – перестроенная в этих координатах гистограмма (a), сплошная линия – аппроксимация этого распределения кривой Гаусса

При невозможности одномодальной аппроксимации оцениваются возможности двух-, затем трёхмодальной аппроксимации (рис. 5.4, 5.5). При этом восстановление членов разложения начинается по левым и правым частям членов разложения, полагая малость влияния смежного члена разложения. Опыт подобной обработки показывает достаточность двух-трёх итераций. Оценка сходимости фактических данных и результатов аппроксимации производится по величине относительной погрешности расхождения, исходя из реального числа обследований. Интегральное расхождение результатов не превышает 1 %, дифференциальное (при отдельных значениях показателя) – до 30 %.

Рис. 5.4. Частотное распределение показателя крови «Альфа-2», L :

гистограмма построена по реальным данным суммированием числа обследованных N , имеющих значение показателя L в равных интервалах шириной 1 ед.

Сплошными линиями обозначены члены двухмодального разложения: N_1 , N_2 и $(N_1 + N_2)$, построенные в выбранных координатах $N = f(L)$ для наглядности точности аппроксимации и выбора параметров.

Вертикальными пунктирными линиями обозначены границы нормы, соответствующие 6 и 10 ед.

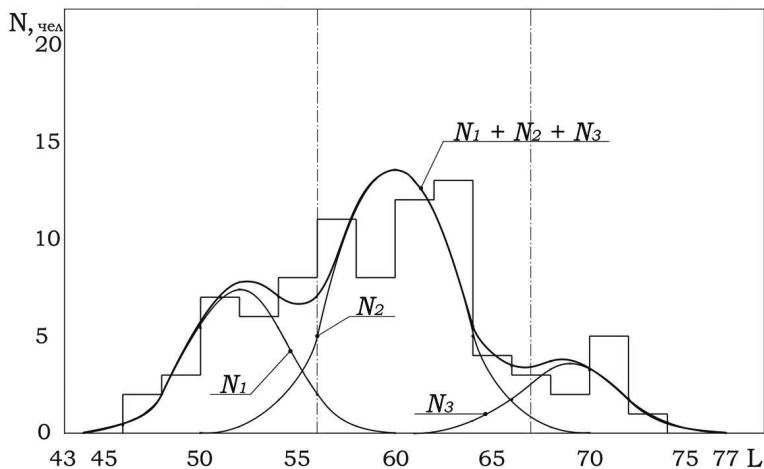
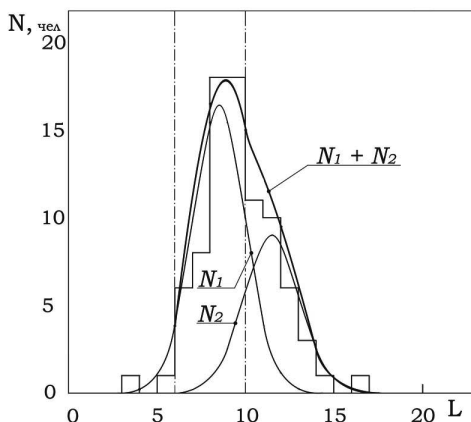


Рис. 5.5. Частотное распределение показателя крови «Общий белок», L :

гистограмма построена по реальным данным суммированием числа обследованных N , имеющих значение показателя L в равных интервалах шириной 2 ед.

Сплошными линиями обозначены члены трёхмодального разложения: N_1 ; N_2 ; N_3 и $(N_1 + N_2 + N_3)$, построенные в выбранных координатах $N = f(L)$ для наглядности точности аппроксимации и выбора параметров.

Вертикальными пунктирными линиями обозначены границы нормы, соответствующие 56 и 67 ед.

Аппроксимирующие полимодальные кривые повторяют монотонности реального распределения и выделяют «хвосты», обусловленные областями патологии.

В табл. 5.1 приведены параметры аппроксимирующих функций Гаусса (рис. 5.3–5.5), найденные по изложенной выше методике.

На рис. 5.6 для иллюстрации предложенного подхода приведены также результаты математической обработки данных частотного распределения концентрации изониазида в крови индивидуумов через 6 ч после приема стандартной дозы препарата. Как сообщают авторы полученных экспериментальных данных (гистограмма), бимодальность отражает существование двух фенотипов – быстрых и медленных инактиваторов изониазида.

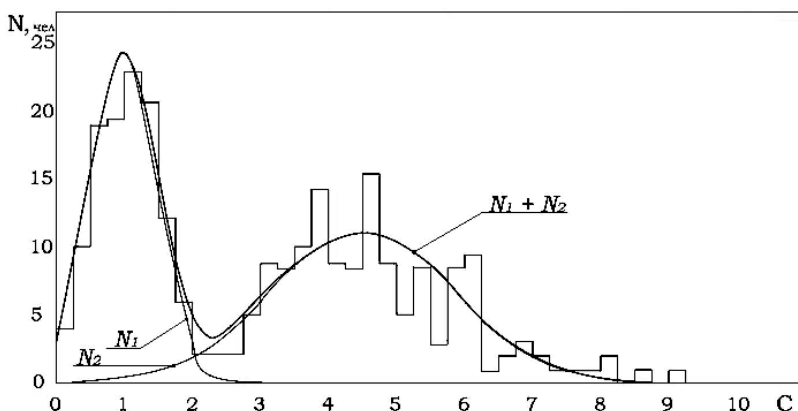


Рис. 5.6. Частотное распределение концентрации изониазида C (мкг/мл) в крови индивидуумов через 6 ч после приёма стандартной дозы препарата

Таблица 5.1

Параметры аппроксимирующих функций частотных распределений показателей крови

Наименование показателя, норма	Параметры аппроксимации												
	n	$g_i / N_{0i}, 1/\text{чел.}$				\bar{L}_i				σ_i			
		$g_{1/N01}$	$g_{2/N02}$	$\frac{g_3}{N_{03}}$	N_0 чел	\bar{L}_1	\bar{L}_2	\bar{L}_3	\bar{L}	σ_1	σ_2	σ_3	σ_L
Холинэстераза $3930 \leq L \leq 11500$	1	1/84			84	4200			4200	600	—	—	600

Окончание табл. 5.1

Наименование показателя, норма	Параметры аппроксимации												
	n	g_i / N_{0i} , 1/чел.			\bar{L}_i				σ_i				
		g_1/N_{01}	g_2/N_{02}	$\frac{g_3}{N_{03}}$	N_0 чел	\bar{L}_1	\bar{L}_2	\bar{L}_3	\bar{L}	σ_1	σ_2	σ_3	σ_L
«Альфа-2» $6 \leq L \leq 10$	2	$\frac{0,64}{54}$	$\frac{0,36}{30}$	—	84	8,5	11,5	—	9,6	1,5	1,5	—	2,1
Общий белок $56 \leq L \leq 67$	3	$\frac{0,27}{23}$	$\frac{0,6}{50}$	$\frac{0,13}{11}$	84	52	60	69	59	2,5	3	2,5	5,9
Концентрация изониазида	2	$\frac{0,45}{120}$	$\frac{0,55}{148}$	—	268	1	4.5	—	2.9	0.50	1.35	—	2.04

5.2.2. Применение статистики малых множеств при сравнении показателей здоровья населения, проживающего в исследуемом и контрольном районах

При проведении медико-экологической диагностики устанавливаются законы распределения случайных величин (показателей здоровья населения) в исследуемом и контрольном районах, вычисляются параметры их распределения и проверяются статистические гипотезы о совпадении (отличии) сравниваемых двух статистических множеств.

Два сравниваемых статистических множества будем считать совпадающими, если подтверждаются статистические гипотезы о совпадении средних значений и дисперсий (для полимодальных распределений должен совпадать третий параметр – весовой множитель). При невыполнении хотя бы одного из этих условий статистические множества не совпадают. Проверка на совпадение статистических множеств – один из критериев оценки возможного влияния на здоровье населения экологических характеристик исследуемого района, отличных от характеристик контрольного района.

Проверка статистических гипотез выполняется, как правило, в условиях малого объема этих групп населения, различающихся возрастом, полом, социальными условиями и др., поэтому здесь рассматривается статистика малых множеств применительно к задачам диагностики в доказательной медицине.

Методы принятия решений в условиях случайного характера данных рассматриваются в теории проверки статистических гипотез. Статистическая гипотеза есть предположение о некоторых свойствах статистической совокупности, требующих проверки и подтверждения.

Типичная задача проверки гипотезы появляется, когда необходимо сделать вывод о выборе между двумя возможными (взаимоисключающими) альтернативами. Например, когда необходимо определить оказывает ли определенный фактор влияние на здоровье людей (нулевая гипотеза H_0) или нет (альтернативная гипотеза H_1).

Формально в качестве нулевой гипотезы H_0 можно выбрать любую из рассматриваемых гипотез. Однако последствия будут различны из-за различия характера ошибок, возникающих при проверке гипотез. Поэтому выбор гипотезы в качестве основной требует обоснования. Как правило, основное проверяемое предположение выбирают в качестве нулевой гипотезы и формулируют как незначительность влияния фактора, отсутствие отличий и т.п. Другое проверяемое предположение называется альтернативной (конкурирующей) гипотезой. Например, если предпринимается попытка доказать, что некий фактор оказывает влияние на здоровье населения, то в качестве нулевой гипотезы рассматривается утверждение, что данный фактор не оказывает влияния на здоровье. Фактически нулевая гипотеза рассматривается как утверждение, несостоятельность которого более бесспорна, чем истинность.

Для проверки справедливости нулевой гипотезы используются статистические критерии. Под статистическим критерием понимают как метод оценки, так и величину, получаемую в результате применения метода.

Общая схема проверки нулевой гипотезы H_0 (отсутствие статистически значимого различия) заключается в следующем:

- выбирается статистический критерий;
- задается критический уровень значимости $\alpha_{кр}$, который трактуется как вероятность ошибочно отвергнуть нулевую гипотезу тогда, когда она на самом деле верна (ошибка I рода). Обычно этот уровень выбирается из значений 0,05; 0,01; 0,001;

- находится пороговое значение выбранного критерия $K_{\text{пор}}$ для заданного уровня значимости;
- расчётным путем определяется реальный уровень значимости $\alpha_{\text{выч}}$ нулевой гипотезы;
- нулевая гипотеза не отклоняется, если вычисленное значение статистики критерия $K_{\text{выч}}$ не больше $K_{\text{пор}}$ или $\alpha_{\text{выч}}$ превышает критический уровень значимости $\alpha_{\text{кр}}$. В противном случае нулевая гипотеза отвергается и принимается альтернативная гипотеза H_1 .

Если в действительности верна альтернативная гипотеза H_1 , но принята гипотеза H_0 , то допущена ошибка II рода. Вероятность ошибки II рода обозначается обычно как β .

Одним из возможных критериев в случае сравнения двух выборок является T -критерий.

T-критерий сравнения средних в двух группах данных

Рассмотрим использование параметрических критериев оценки гипотез, т.е. критериев, основанных на предположении, что распределение признака подчиняется некоторому известному закону. Будем предполагать нормальный закон распределения величин ограниченной выборки.

Анализ данных включает вычисления описательных статистик в группах (например, вычисления средних и стандартных отклонений). При наличии двух групп данных (уровни заболеваемости в двух населённых пунктах) естественно сравнить средние в этих группах. Пусть имеются средние для первой группы и второй. Можно формально вычесть одно среднее из другого и по величине разности сделать вывод о наличии эффекта; при этом определенным образом нормируется разность средних двух выборок.

T-критерий для независимых выборок

T -критерий является наиболее часто используемым методом, позволяющим выявить различие между средними двух выборок. Применение T -критерия имеет некоторые ограничения, если предполагается, что данные в группах распределены нормально, а величины дисперсий в группах отличаются незначительно.

Теоретически T -критерий можно применять и при небольших (10 и даже меньше) размерах выборок. Более того, известно, что

T -критерий устойчив к отклонению распределений от нормальности.

Предположение о нормальности выборок устанавливается с помощью соответствующих статистических критериев. Более осторожно следует подходить к различию дисперсий в двух группах данных. Равенство дисперсий оценивается на основании F -критерия Фишера.

Формальное определение T -критерия

Гипотеза о равенстве двух средних значений исходит из предположения, что обе выборки берутся из нормально распределенной генеральной совокупности с математическим ожиданием x_0 и дисперсией σ_0 . Если это предположение справедливо, то оба средних значений соответствуют x_0 . Реально же выборочные средние \bar{x}_1 и \bar{x}_2 будут отличаться. Задача заключается в выяснении того, находится ли их разность в пределах случайного разброса.

Для случая двух групп ($k = 2$) статистика t -критерия имеет вид

$$t(n_1 + n_2 - 2) = \frac{\bar{x}_1(n_1) - \bar{x}_2(n_2)}{\tilde{s} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (5.13)$$

где $\bar{x}_1(n_1)$ и $\bar{x}_2(n_2)$ – выборочные средние первой и второй выборки; \tilde{s}^2 – оценка дисперсии, составленная из оценок дисперсий для каждой группы данных:

$$\bar{x}_1(n_1) = \frac{\sum_{k=1}^{n_1} x_{1k}(n_1)}{n_1}; \quad (5.14)$$

$$\bar{x}_2(n_2) = \frac{\sum_{k=1}^{n_2} x_{2k}(n_2)}{n_2}; \quad (5.15)$$

$$\tilde{s}^2 = \frac{1}{n_1 + n_2 - 2} [(n_1 - 1)\bar{s}_1^2(n_1) + (n_2 - 1)\bar{s}_2^2(n_2)]; \quad (5.16)$$

$$\bar{s}_j^2(n) = \frac{1}{n_j - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_j(n))^2, \quad j = 1, 2. \quad (5.17)$$

Если гипотеза «средние в двух группах равны», то статистика $t(n_1 + n_2 - 2)$ имеет распределение Стьюдента с $(n_1 + n_2 - 2)$ степенями свободы.

Если обозначить найденное значение через $t(\alpha)$, то в случае $|t(n_1 + n_2 - 2)| > t(\alpha)$ гипотеза отвергается. В данном случае мы имеем дело с двусторонним критерием, т.е. альтернативная гипотеза предполагает, что \bar{x}_2 может быть как больше, так и меньше \bar{x}_1 .

Отметим, что большие по абсолютному значению статистики Стьюдента возникают как из-за значимого различия средних, так и из-за значимого различия дисперсий сравниваемых групп.

Конкретная схема проверки гипотез зависит от условий задачи и специфики имеющейся информации: зависимости или независимости выборок, объемов выборок, равенстве (неравенстве) дисперсий, альтернативной изменчивости признака.

При проверке гипотезы о равенстве средних двух независимых выборок встречаются следующие случаи: выборки равной численности ($n_1 = n_2$) и дисперсии равны ($\sigma_1 = \sigma_2$); численности выборок не равны ($n_1 \neq n_2$), а дисперсии равны ($\sigma_1 = \sigma_2$); численности выборок не равны ($n_1 \neq n_2$) и дисперсии не равны ($\sigma_1 \neq \sigma_2$).

Приведенный выше случай соответствует предположению о равенстве дисперсий. Когда различия между \bar{s}_1^2 и \bar{s}_2^2 значительны, необходимо провести проверку равенства дисперсий. Если выяснится, что различия между дисперсиями существенны, то необходимо модифицировать схему проверки гипотезы о равенстве средних. Это объясняется тем, что в случае $\sigma_1 = \sigma_2$ распределение t -Стьюдента зависит только от числа степеней свободы. Если дисперсии не равны, это распределение зависит и от неизвестного отношения дисперсий σ_1/σ_2 . Поэтому общая ошибка вывода будет зависеть от сложного сочетания ошибки гипотезы о равенстве средних и ошибки гипотезы о равенстве дисперсий. В этом случае целесообразно применять критерий t -Стьюдента с измененным числом степеней свободы. В число степеней свободы вносится поправка, которая зависит от отношения дисперсий:

$$v = (n_1 + n_2 - 2) \left(0,5 + \frac{\bar{s}_1^2 \cdot \bar{s}_2^2}{\bar{s}_1^4 + \bar{s}_2^4} \right). \quad (5.18)$$

Когда $\overline{s}_1^2 = \overline{s}_2^2$, второй множитель равен единице и число степеней свободы соответствует случаю равенства дисперсий. При значительном различии \overline{s}_1^2 и \overline{s}_2^2 дробь во второй скобке становится значительно меньше единицы, и второй множитель стремится к 0,5. Таким образом, общее число степеней свободы уменьшается в два раза. На практике, если $\sigma_1 \neq \sigma_2$ (при $n_1 = n_2$), то при определении критического значения $t(\alpha)$ число степеней свободы уменьшают в два раза. В остальном проверка гипотезы осуществляется так же, как при $\sigma_1 = \sigma_2$.

Если численности выборок не равны ($n_1 \neq n_2$) и дисперсии не равны ($\sigma_1 \neq \sigma_2$), критерий также не распределён по Стьюденту. Установлено, что лучшим приближением к критическому значению критерия в этом случае является средняя взвешенная из двух обычных значений t -критерий Стьюдента при ν_1 и ν_2 степенях свободы. В качестве весов берут квадраты средних ошибок выборочных средних:

$$m_1^2 = \frac{\overline{s}_1^2}{n_1} ; \quad (5.19)$$

$$m_2^2 = \frac{\overline{s}_2^2}{n_2} ; \quad (5.20)$$

$$\bar{t}(\alpha) = \frac{t_1 m_1^2 + t_2 m_2^2}{m_1^2 + m_2^2}. \quad (5.21)$$

Проверка гипотез при альтернативной изменчивости признака

Рассмотрим случай проверки гипотез, когда изучаемый признак меняется таким образом, что наблюдаются лишь два взаимно исключающих значения – например, одна часть объектов обладает этим признаком, а другая – нет. Обсудим особенности проверки гипотез при подобной альтернативной изменчивости признака.

Пусть n' и n'' – численности объектов, обладающих и не обладающих, соответственно, каким-либо признаком; объём выборки $n = n' + n''$. Выборочная доля объектов, обладающая данным признаком, есть $p = n'/n$. Дисперсия альтернативного признака равна $p \cdot q$, где $q = 1 - p$. Тогда средняя ошибка выборочной доли определяется так:

$$m_p = \sqrt{\frac{p \cdot q}{n-1}}. \quad (5.22)$$

Если объём выборки достаточно большой, можно использовать формулу

$$m_p = \sqrt{\frac{pq}{n}}. \quad (5.23)$$

В предположении нормальности распределений, при проверке гипотез о существенности разности долей p_1 и p_2 можно использовать ту же общую схему, что и при проверке гипотез о средних. Значение критерия в этом случае определяется как

$$t = \frac{|p_1 - p_2|}{m_{1,2}}, \quad (5.24)$$

где $m_{1,2}$ – обобщённая ошибка двух выборочных долей:

$$m_{1,2} = \sqrt{m_{p_1}^2 + m_{p_2}^2}. \quad (5.25)$$

Отметим, что нормальное приближение справедливо лишь при соблюдении следующих условий:

- объём выборки достаточно велик;
- значения p не близки к нулю либо к единице ($0,2 < p < 0,8$).

Если эти условия не выполняются, распределения выборочных долей отклоняются от нормального и использовать t -критерий нельзя.

В этом случае возможно применение ϕ -преобразования Фишера, который показал, что значения ϕ , выраженные в радианах, имеют распределение, близкое к нормальному. Причем ϕ связано с долей объектов в генеральной совокупности, обладающих данным признаком P , следующим образом:

$$\phi = 2 \frac{\pi}{180} \arcsin \sqrt{P}. \quad (5.26)$$

С использованием этого выражения, значения p_1 и p_2 преобразуются в ϕ_1 и ϕ_2 , и к их разности применяется приведённая выше схема проверки гипотез:

$$m_{\phi_{1,2}} = \sqrt{m_{\phi_1}^2 + m_{\phi_2}^2} = \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} = \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 \cdot n_2}}. \quad (5.27)$$

$$t = \frac{|\varphi_1 - \varphi_2|}{m_{\varphi_{1,2}}} = |\varphi_1 - \varphi_2| \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1 + n_2}}. \quad (5.28)$$

Полученное значение критерия t сопоставляется с критическим значением $t(\alpha)$, на основании чего делается вывод о нулевой гипотезе.

Метод φ -преобразования наиболее эффективен при значениях p , близких к нулю или к единице, но он может быть использован при любых, в том числе и срединных, значениях $0,2 < p < 0,8$.

Отметим, что разность между φ_1 и φ_2 можно оценить и с использованием критерия Фишера

$$F = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)^2}{m_{\varphi_{1,2}}^2} = (\varphi_1 - \varphi_2)^2 \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}. \quad (5.29)$$

В медицинских исследованиях зачастую необходимо сделать вывод о существенности влияния какого-либо фактора на здоровье человека по результатам оценки целого ряда медицинских показателей. Причем отклонение от нормы (наличие одного определенного вида заболевания) характеризуется единицей, норма – нулём. Поскольку у одного человека возможно наличие целого ряда отклонений (заболеваний), в качестве его характеристики может выступать целое число (сумма определенного количества единиц). В этом случае, несмотря на альтернативную изменчивость признака по каждому возможному виду отклонения, в целом результирующий показатель не может выступать как альтернативный (индикаторный). И в случае, если выполняются условия, приведенные выше, возможно использование стандартной схемы проверки гипотез.

Пример проверки гипотезы о равенстве средних двух независимых выборок при различных дисперсиях и численностей выборок ($\sigma_1 \neq \sigma_2, n_1 \neq n_2$)

Рассмотрим два варианта подхода к решению поставленной задачи на примере обследования детей в посёлках 1 и 2. Возраст обследованных двух групп детей составлял 10 лет. Анализируемый показатель здоровья – общее одинаковое число заболеваний X_i , установленных у каждого пациента.

Первый вариант. В анализируемый ансамбль показателя здоровья включены все обследованные как больные, так и здоровые пациенты («О» заболеваний) – смешанная выборка.

В пос. 1 численность обследованных детей $n_1 = 15$, в том числе здоровых («О» заболеваний) – 4 чел. Среднее число поставленных диагнозов $\bar{X}_1 = 2,2$.

В пос. 2 численность обследованных детей $n_2 = 22$, в том числе здоровых («О» заболеваний) – 5 чел. Среднее число поставленных диагнозов $\bar{X}_2 = 1,818$.

Следует оценить существенность разности средних по количеству диагнозов в пос. 1 и 2. Тест на нормальность для обеих групп данных – положительный. Выборочные стандартные отклонения равны, соответственно, $\bar{s}_1 = 1,699$ и $\bar{s}_2 = 1,468$.

Обобщённая ошибка выборочных средних

$$m_1^2 = \frac{\bar{s}_1^2}{n_1} = 0,193; \quad (5.30)$$

$$m_2^2 = \frac{\bar{s}_2^2}{n_2} = 0,098; \quad (5.31)$$

$$m_{1,2} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2} = 0,54. \quad (5.32)$$

Фактическое значение критерия

$$t = \frac{|x_1 - x_2|}{m_{1,2}} = 0,70. \quad (5.33)$$

Вычислим фактическое значение критерия как среднее взвешенное из двух значений при соответствующих степенях свободы. При $\alpha = 0,05$ получаем $t_1 = 2,145$ для числа степеней свободы $v_1 = n_1 - 1 = 14$, $t_2 = 2,080$ для $v_2 = n_2 - 1 = 21$

$$\bar{t}(0,05) = \frac{t_1 m_1^2 + t_2 m_2^2}{m_1^2 + m_2^2} = 2,124. \quad (5.34)$$

Таким образом, $t = 0,70 < \bar{t}(0,05) = 2,124$, т.е. нулевая гипотеза о равенстве средних не отвергается.

Второй вариант. Анализируемый ансамбль показателя здоровья состоит только из больных детей, т.е. здоровые дети из статистиче-

ской обработки исключены. Тогда $n_1 = (15 - 4) = 11$; $n_2 = (22 - 5) = 17$. В этом случае среднее число поставленных диагнозов

$$\bar{X} = \frac{\sum_i X_i \cdot n_i}{\sum_i n_i}, \quad (5.35)$$

где X_i – одинаковое число диагнозов, поставленных каждому из n_i пациентов; n_i – число пациентов, каждому из которых поставлено одинаковое число диагнозов равное X_i ; $\sum_i n_i = n$ – общее число обследованных больных детей.

Дисперсия

$$S^2 = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X})^2 \cdot n_i}{\sum_i n_i} = \sum_i (X_i - \bar{X})^2 \cdot P_i, \quad (5.36)$$

где P_i – вероятность установления X_i диагнозов для каждого из n_i пациентов. В этом случае, используя для расчета выражения (5.30)–(5.36), получим: для больных детей из пос. 1 $\bar{X}_1 = 3,0$; $S_1 = 1,34$; $m_1^2 = 0,163$; для больных детей из пос. 2 $\bar{X}_2 = 2,35$; $S_2 = 1,09$; $m_2^2 = 0,07$; а также

$$m_{1,2} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2} = \sqrt{0,163 + 0,07} = 0,48; \quad (5.37)$$

$$t = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{m_{1,2}} = \frac{3 - 2,35}{0,48} = 1,35; \quad (5.38)$$

$$t(0,05) = \frac{t_1 \cdot m_1^2 + t_2 \cdot m_2^2}{m_1^2 + m_2^2} = 2,217, \quad (5.39)$$

при $t_1(\alpha = 0,05) = 2,23$ при числе степеней свободы $n_1 - 1 = 10$, и $t_2(\alpha = 0,05) = 2,12$ при числе степеней свободы $n_2 - 1 = 16$.

Таким образом, $t = 1,35 < [t(0,05) = 2,217]$, т.е. нулевая гипотеза о равенстве средних и в этом случае не отвергается, несмотря на то, что фактическое значение t -критерия для больных детей $t = 1,35$ возросло почти в два раза по сравнению с фактическим t -критерием для смешанной группы детей ($t = 0,70$).

Возможна ли ситуация, когда при исключении из выборки здоровых детей гипотеза о совпадении средних не подтвердится?

Ответ на этот вопрос можно получить из рассмотрения и анализа наглядных графических представлений рис. 5.7 и данных табл. 5.2.

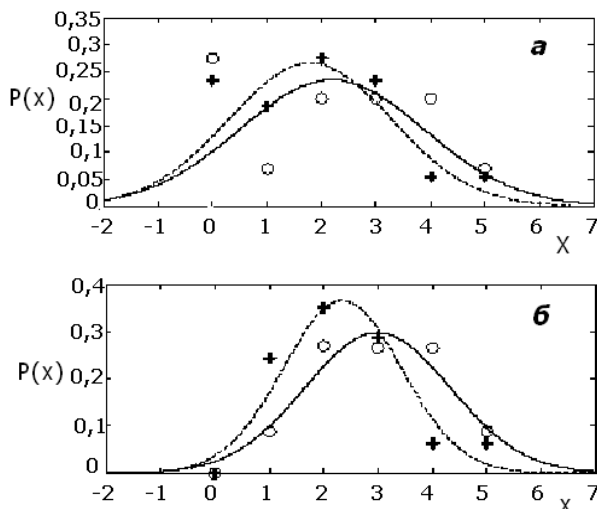


Рис. 5.7. Зависимость плотности вероятности $P(X)$ от числа заболеваний X , наблюдаемых у одного пациента:

a – смешанная выборка; b – выборка «только больные»; o – пос. 1, $+$ – пос. 2 – данные обследований; сплошная линия – (пос. 1); пунктирная – (пос. 2) – аппроксимирующие кривые Гаусса (нормальное распределение)

Положительный тест на нормальность для смешанной группы не исключает реально необъяснимую область отрицательных значений числа заболеваний, имеющих положительную вероятность ($X_i < 0$) для смешанной выборки. А также большой разброс экспериментальных данных (до 250 %) относительно аппроксимирующей функции Гаусса, завышенную по отношению к группе больных дисперсию, среднее значение, «тяготеющее» к большим значениям вероятности наблюдения здоровых в смешанной группе (рис. 5.7, a). С увеличением числа здоровых в смешанной группе среднее значение и дисперсия всё больше могут «забывать» о больных и переставать быть их полноценными характеристиками.

Таблица 5.2

Характеристики статистических ансамблей двух групп детей – смешанной и «только больных»

Тип выборки	Показатели							
	n_1	n_2	\bar{X}_1	\bar{X}_2	S_1	S_2	t	$t_{(0,05)}$
Смешанная (больные и здоровые)	15	22	2,2	1,82	1,7	1,47	0,70	2,12
Только больные	11	17	3,0	2,35	1,34	1,09	1,35	2,17

Характеристики смешанных групп будут близки к характеристикам группы больных при условии, когда число здоровых не превышает 10 % общего числа пациентов.

Следует также отметить (см. рис. 5.7), что при исключении здоровых из статистического анализа различия в двух статистических множествах становятся более явными.

Сравнение дисперсий двух нормальных генеральных совокупностей

В качестве нулевой обычно выдвигают гипотезу о равенстве дисперсий. В методике проверки гипотез в качестве критерия используется статистика F отношения двух исправленных выборочных дисперсий S_1^2 и S_2^2 с $(n-1)$ и $(m-1)$ степенями свободы, где n и m – объёмы выборок исследуемой (1) и контрольной (2) групп (F -критерий Фишера). Методика проверки гипотез с помощью критерия Фишера точно такая же и для других критериев: вводятся нулевая и конкурирующая гипотезы; по уровню значимости строятся область принятия гипотезы и критическая область (значения критических точек получаем из таблиц); рассчитывается наблюдаемое значение критерия; проверяется принадлежность полученного значения критерия области принятия гипотезы, и в зависимости от этого нулевая гипотеза принимается либо отвергается в пользу конкурирующей.

5.2.3. Пример использования групповых статистических критериев для оценки донозологических и патологических состояний индивидуального здоровья и рисков здоровью в условиях хронического негативного воздействия химических токсикантов

В последние десятилетия бурно развивается междисциплинарное направление науки и практики – экологическая медицина, раздел общей методологии и экологии человека, направленный на изучение, оценку, прогноз и коррекцию адаптационных процессов, предпатологических и патологических состояний организма с учётом воздействия химических, физических и биологических факторов среды обитания. Эксперты ВОЗ до 20–25 % заболеваний человека относят к патологии, обусловленной воздействием неблагоприятных факторов внешней среды; по данным российских авторов, этот показатель может изменяться в широких пределах от 4 до 40 %. В индустриально развитых странах наибольшее влияние на состояние здоровья оказывают химические факторы, особенно связанные с деятельностью производств нефтегазового комплекса.

В связи с этим актуальными проблемами являются достоверная идентификация приоритетных химических факторов окружающей среды и разработка методов диагностики состояния здоровья населения с оценкой возможного влияния этих факторов на риски здоровью.

Вместе с тем сохраняются значительные различия в методологии и методах исследований, в диагностике состояний здоровья и идентификации факторов влияния реальных химических нагрузок не только при наблюдении патологий, но и при оценке донозологических состояний, диагностика которых не имеет общепринятых методов и критериев. Современные клинические возможности позволяют провести углублённый анализ многих параметров состояния здоровья. В случае сверхнормативного воздействия химических токсикантов с выраженной клинической картиной, клиницист, токсиколог, профпатолог в состоянии выставить индивидуальный, наиболее вероятный экологически обусловленный диагноз. При наиболее часто происходящих длительных воздействиях комплекса химических веществ с концентрациями вблизи допустимых уровней, с наличием латентных периодов и сопутствующих заболеваний неэкологической природы, ограниченностью числа клиниче-

ских наблюдений постановка индивидуального диагноза химической природы у отдельного пациента вне анализа состояния здоровья определённой группы (когорты, популяции) чрезвычайно мала.

Цель и задачи исследований

Целью является обоснование необходимости осуществлять постановку экологически обусловленного индивидуального диагноза состояния здоровья на основе анализа показателей состояния здоровья той однородной группы пациентов, к которой данный пациент относится, изложение методики статистического анализа, критериев и оценки риска состояния здоровья.

Материалы и методы исследования

Был проведен анализ полученных в течение пяти лет до начала эксплуатации химически опасного объекта (ХОО) результатов «фоновых» медико-экологических обследований состояния здоровья детского населения, проживающего в двух населенных пунктах энского района: в пос. 1, расположенном вблизи места строящегося объекта, и в пос. 2 – в контрольном поселке, расположенном примерно в 35 км от пос. 1. Контрольный район был выбран исходя из примерно одинаковых социальных и геологогеографических условий проживания детского населения, а также из того, что при эксплуатации объекта его влияние на пос. 2 будет пренебрежимо мало.

Анализировались результаты обследования состояния здоровья практически всех детей, проживающих в этих посёлках (более 500 человек). Медико-экологическое обследование включало в себя медицинскую и экологическую составляющие: оценку врачами-клиницистами заболеваний согласно международному классификатору болезней МКБ-10, клинико-лабораторные анализы крови и мочи, инструментальную диагностику, а также измерения экологических характеристик качества компонентов окружающей среды (воды, воздуха, почвы, а также продуктов питания). Статистической обработке и анализу подверглось более 50 показателей крови, в том числе содержание в крови некоторых химических веществ и элементов, концентрации более 70 химических веществ и элементов в пробах мочи и более 190 – в пробах воды и почвы. Концентрации веществ и элементов в воздухе и продуктах питания анализировались по данным регионального социально-гигиенического

мониторинга общепромышленных загрязнителей, тяжёлых металлов, фосфора и хлорорганических соединений.

Полученные результаты и их интерпретация

В результате проведенного анализа исходных медико-экологических данных (рис. 5.8) было установлено, что:

- относительное распределение болезней по классам МКБ-10 одинаково для детей, проживающих в каждом из посёлков, отличаясь в отдельных классах в пределах $\pm 15\%$, что находится в рамках статистической погрешности;
- в обоих посёлках наблюдаются выраженные максимумы болезней в следующих классах:
 - XIII – костно-мышечная система (22–27 %);
 - XI – органы пищеварения (18–23 %);
 - X – органы дыхания (9–11 %);
 - IV – эндокринная система, нарушения питания и обмена веществ (8–12 %);
 - VI – нервная система;
 - VII – болезни глаза и его придаточного аппарата (5–7,5 %).

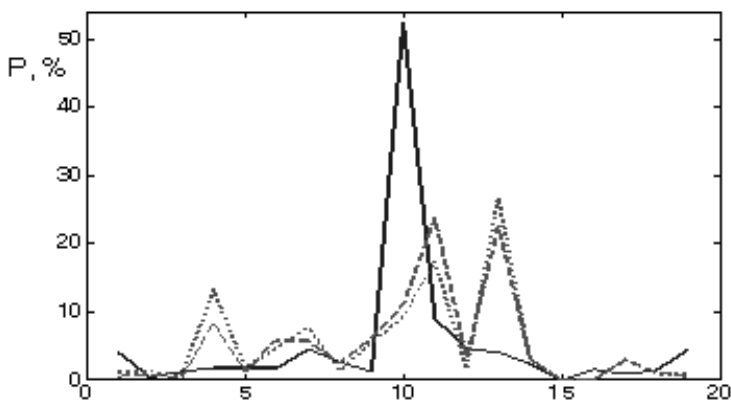


Рис. 5.8. Относительная заболеваемость детей P , %, в зависимости от класса заболеваний согласно МКБ-10 (отношение числа заболеваний данного класса к общему числу заболеваний):

сплошная линия – статистические данные по России (дети до 14 лет); пунктирная линия – результаты обследования 374 детей, проживающих в пос. 1, точечная линия – результаты обследования 217 детей, проживающих в пос. 2

Идентификация приоритетных химических токсикантов проводилась, исходя из основного критерия – их наличия в воде, почве, крови и (или) моче детей на уровне или более верхних значений гигиенических нормативов. Такой подход позволил выделить из всех наблюдаемых два приоритетных токсиканта – хлориды и полифосфаты. Их содержание наблюдалось преимущественно в окружающей среде пос. 1 и биопробах детей этого поселка (табл. 5.3).

Следующие по рангу наблюдаемые токсиканты (железо и мышьяк) не имели замеченных отклонений по концентрациям в крови и моче детей выше нормативных значений и оказались распределёнными в крови детей, проживающих в пос. 1 и 2.

Таблица 5.3

Содержание приоритетных токсикантов

Место проживания	Менее нижней границы нормы $L_{min} = 98$ ммоль/л, %		Более верхней границы нормы $L_{max} = 107$ ммоль/л, %	
	хлориды	полифосфаты	хлориды	полифосфаты
Пос. 1	0	0	43	74
Пос. 2	56	0	0	39

Таким образом, превышение верхних границ гигиенических нормативов по содержанию в крови хлоридов и полифосфатов наблюдается примерно на 40 % больше у детей, проживающих в пос. 1, в то время как статистически значимых различий ни в структуре болезней по МКБ-10, ни в их относительном количестве не наблюдается (рис. 5.8). Это дает основание выдвинуть гипотезу о преимущественном влиянии на состояние здоровья детей, проживающих в пос. 1, хронического длительного воздействия хлоридов и полифосфатов и искать различия в состояниях здоровья детей двух посёлков в более «тонких» количественных лабораторно-клинических показателях, отражающих донозологические состояния адаптационных резервов организма, по сравнению с симптомами и синдромами болезней по МКБ-10.

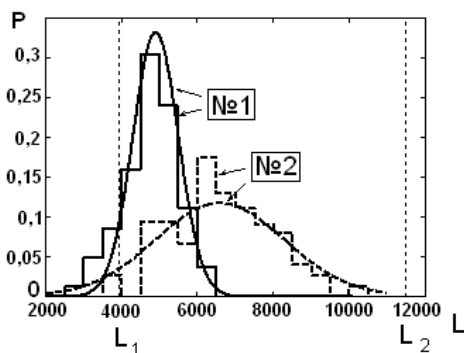
С этой целью был проведён анализ сравнения частотных распределений биохимических и иммунологических показателей

(табл. 5.4) и сделана статистическая оценка этих распределений для детей пос.1 и пос. 2.

Проверка статистических гипотез о совпадении статистических множеств частотных распределений иммунологических показателей для детей пос. 1 и пос. 2 выполнена по критериям оценки совпадения средних значений (t -критерий Стьюдента) и оценки совпадения дисперсий (F -критерий Фишера) при уровне значимости $\alpha = 0,05$. В результате были установлены статистически значимые смещения частотных распределений семи иммунных и биохимических показателей – иммуноглобулинов A и M , аланинаминотрансферазы, холинэстеразы, тиреотропный гормон, билирубин общий, мочевины (табл. 5.4), (рис. 5.9–5.10).

Сдвиги частотных распределений показателей для детей пос. 1 и пос. 2 наблюдаются в пределах гигиенических нормативов. Таким образом, распределения статистически значимо различаются как средними значениями, так и дисперсиями. В рамках принятой гипотезы наблюдаемые несовпадения статистических множеств частотных распределений иммунологических показателей адаптационных резервов организма детей пос. 1 и пос. 2 можно рассматривать как критерий донозологического состояния здоровья детей пос. 1, вызванного хроническим многолетним преимущественным воздействием хлоридов и (или) полифосфатов, что впоследствии может привести к хронической патологии заболеваний детей пос. 1.

Рис. 5.9. Частотное распределение P (л/кU) концентрации L (кU/л) холинэстеразы в крови детей не старше 18 лет, проживающих в пос. 1 (83 чел., № 1) и пос. 2 (75 чел., № 2). Кривыми обозначены соответствующие аппроксимации распределений функциями Гаусса (нормальное распределение): $\sigma_1 = 600$ кU/л, $\langle L_1 \rangle = 4900$ кU/л; $\sigma_2 = 1700$ кU/л, $\langle L_2 \rangle = 6600$ кU/л). Вертикальными линиями обозначены границы нормы: 3930–11 500 кU/л



Дети пос. 1 в таком случае относятся к группе риска, хотя в то же время иммунологические показатели каждого из пациентов находятся в основном в пределах гигиенических нормативов. Из этого следует важный вывод о необходимости анализа групповых (популяционных) характеристик состояния здоровья при постановке индивидуального диагноза.

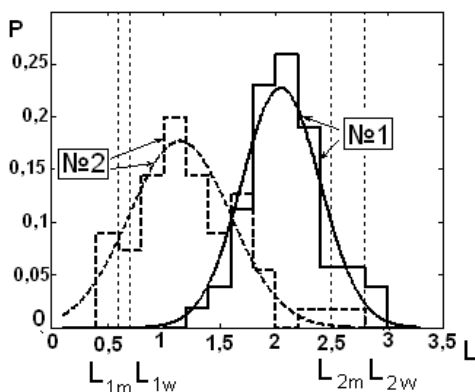


Рис. 5.10. Частотное распределение P (л/г) концентрации L (г/л) иммуноглобулина M в крови детей старше 13 лет, проживающих в пос. 1 (53 чел., № 1) и пос. 2 (55 чел., № 2). Кривыми обозначены соответствующие аппроксимации распределений функциями Гаусса (нормальное распределение): $\sigma_1 = 0,35$ г/л, $\langle L_1 \rangle = 2,05$ г/л; $\sigma_2 = 0,45$ г/л, $\langle L_2 \rangle = 1,15$ г/л. Вертикальными линиями обозначены границы нормы для детей старше 13 лет: 0,6–2,5 г/л – муж.(m); 0,7–2,8 г/л – жен.(w)

Полученная структура заболеваемости принципиально отличается от официальных статистических данных, как по изучаемым областям, так и Российской Федерации в целом: из них следует наличие только одного максимума в болезнях детей (до 14 лет) в классе болезней органов дыхания $\approx 50\%$.

Анализ результатов позволяет сформулировать нижеследующее обобщающее положение.

Будем рассматривать донозологическое состояние здоровья как совокупность характеристик, находящихся в «переходной зоне» признаков между состояниями «практически здоров» и «болен».

Считается, что состояние «практически здоров» – случай, когда используемые показатели здоровья не выходят за пределы установленных медицинских нормативов и распределены по нормальному закону, а состояние «болен» соответствует случаю, когда эти показатели находятся за их пределами. При таком рассмотрении состояние «предболезнь» (донозологическое состояние) следует искать в отличии характера распределения показателей состояния

здоровья в пределах нормативного гигиенического интервала по сравнению с некоторым контрольным (нормативным) распределением.

Таблица 5.4

Параметры аппроксимации функциями Гаусса частотных распределений некоторых физиологических характеристик крови

Показатель	L		σ		g^{**}	
	пос. 1	пос. 2	пос. 1	пос. 2	пос. 1	пос. 2
Хлориды, ммоль/л, (98–107) дети старше 1 мес.	107	97,5	2,5	2,5	–	–
Полифосфаты (фосфор), ммоль/л, норма (0,87–1,45) дети старше 12 лет	1,57	1,37	0,21	0,21	–	–
Иммуноглобулин A , г/л, норма (0,1–4,5) муж., (0,85–4,5) жен. старше 13 лет	1,12	1,68	0,45	0,35	0,82	0,73
	2,18*	2,25*	0,18*	0,16*	0,18*	0,27*
Иммуноглобулин M , г/л, норма, (0,6–2,5) муж., (0,7–2,8) жен. старше 13 лет	2,05	1,15	0,35	0,45	–	–
Аланинаминотрансфераза, ед./л норма, (10–40) муж. (7–35) жен.	20	13	8	4	–	–
Холинэстераза, СНЕ (кУ/л), норма (3930–11500)	4900	6600	600	1700	–	–

*Статистические параметры второго члена разложения частотного распределения иммуноглобулина A по функциям Гаусса.

**Весовой множитель членов разложения частотных распределений показателя по функциям Гаусса.

В случае изучения влияния на состояние здоровья негативных воздействий среды обитания к группе сравнения (контрольной) следует отнести статистически однородную группу пациентов, которая практически одинакова по всем основным характеристикам сравнения с исследуемой группой, за исключением одного условия: действием на нее негативных факторов, влияние которых на первую группу изучается, можно пренебречь. В этом случае предпочтительным является рассмотрение характера распределений количественных характеристик адаптационных резервов организма, как наиболее чувствительных к внешним воздействиям.

Из клинической практики следует: если медицинский показатель состояния здоровья пациента находится в пределах интервала нормы, то у клинициста нет оснований отказаться от диагноза «практически здоров» (по данному показателю) для обследуемого пациента. Однако же с учётом вышесказанного это условие не является достаточным для подобного диагноза. При наличии статистически значимого несовпадения сравниваемых двух статистических множеств частотных распределений данного показателя такое заключение становится уже необоснованным и пациента следует отнести к группе риска, находящейся в донозологическом состоянии. При этом предполагается, что сравнение проводится для «смешанных» реальных случайных выборок пациентов, в которых находятся «практически здоровые» и «больные»

Следует отметить, что характеристики группы донозологического состояния могут реально выходить за пределы гигиенического норматива, так как возможно одновременное существование пациентов с хроническими патологией и донозологией, и неизвестно, когда со временем хроническая донозоология переходит в хроническую патологию. Для однозначности будем считать нозологическим (патологическим) признаком показатель здоровья, выходящий за пределы «нормы».

Может также представлять практический интерес проведение подобного сравнительного анализа как «смешанной» случайной выборки пациентов, так и выборки «практически здоровых» пациентов (болезни не обнаружены) с контрольной группой сравнения «нормативно здоровых». Эта группа «нормативно здоровых» соответствует «нормативному» частотному распределению показателя распределению Гаусса со средним значением L_n , расположенным в середине интервала нормы $L_n = (L_{\min} + L_{\max})/2$, а среднее квадратическое отклонение σ_n таково, что интервал равный $\pm 2 \sigma_n$ соответствует размеру нормативного гигиенического интервала: $2 \sigma_n = (L_n - L_{\min}) = (L_{\max} - L_n)$. «Нормативное» распределение показателя является нормальным распределением, симметричным относительно середины нормативного интервала, в котором находятся 95 % наблюдаемых «нормативно здоровых». Подобные сравнения могут быть полезными для выявления хронических донозологических и патологических состояний.

Оценка рисков здоровья

Изложенный здесь статистический подход к экспериментальной оценке рисков здоровью населения основан на реальных медико-экологических исследованиях. Они проводятся специалистами при углубленных клинико-лабораторных обследованиях состояния здоровья населения (представительной выборки), проживающего в районе возможного влияния экологически потенциально опасного объекта. Для оценки приоритетных токсикантов измеряются также параметры качества окружающей среды (воды, воздуха, почвы), а также продуктов питания.

Сбор данных выполняется в объёме, обеспечивающем представительность, полноту и надежность исходной информации. Методология предполагает проверку статистических гипотез о совпадении статистических множеств частотных распределений медицинских показателей состояния здоровья двух групп населения, одна из которых относится к населению, подвергаемому негативному воздействию токсикантов, а другая – к населению, проживающему в контрольном районе.

Риски для здоровья оцениваются на патологическом и (или) донозологическом уровнях состояния здоровья по дополнительно наблюдаемой относительно контрольного района вероятности патологических и (или) донозологических состояний в первой группе пациентов. При этом вычитается «фоновый уровень»; фоновый уровень состояния здоровья оценивается до начала эксплуатации объекта. Для использования критериев совпадения статистических множеств, развитых для нормально распределенных случайных величин, реально возможные частотные распределения показателей состояния здоровья, отличные от нормального (асимметричные, одно- и полимодальные), сводятся к нормальному специальными приемами – представлениями в виде логарифмически нормальных распределений и в виде ряда из функций Гаусса.

Выше введён статистический критерий донозологического и патологического состояний здоровья – статистически значимое смещение частотного распределения биохимических (донозологических) показателей в первой группе пациентов относительно контрольной в пределах или вне границ нормы соответственно. Риск «донозологического» здоровья оценивается по величине площади частотного распределения показателя первой группы, отличной от

области общей для обеих статистических групп. Риск патологического состояния здоровья оценивается по величине площади, выходящей за пределы нормы и отличной от области, общей для обеих статистических групп.

Подобный подход справедлив для любых видов воздействия факторов окружающей среды, любых местностей проживания и возрастов населения. Он позволяет оценивать риск здоровью в режиме реального времени, как «фоновый», и в процессе эксплуатации объекта, по результатам медико-экологического мониторинга. Идентификация приоритетных токсикантов и источников их действия основана на результатах прицельных экологических обследований окружающей среды и анализе их содержания и (или) продуктов их биологической трансформации в биопробах.

Апробация этой методологии проведена на примере химического предприятия. Изучались «фоновые» риски здоровью детского населения по результатам медико-экологического мониторинга, проводимого в течение пяти лет до пуска объекта в эксплуатацию. Риски здоровью по отношению к контрольному району на патологическом уровне не наблюдались. Установлены «фоновые» риски здоровью на донозологическом уровне для детей, проживающих вблизи строящегося объекта. Это предположительно связано с преимущественным хроническим воздействием приоритетных для этого поселка токсикантов – хлоридов и полифосфатов. Величина донозологического риска по иммунологическим характеристикам оценивается на уровне $\sim 0,60-0,75$. Результаты экспериментальной оценки риска здоровью могут быть весьма полезными для проверки адекватности расчётных моделей.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение доказательной медицины.
2. Какова роль статистических методов анализа в современной медицине?
3. Определите понятие «экология».
4. Каковы встречающиеся на практике виды статистических распределений показателей здоровья?
5. Назовите критерии совпадения статистических множеств.

6. В чём основы статистического подхода для оценки донозологических и патологических состояний здоровья?

7. Определите сущность методики сравнения статистических множеств при полимодальных распределениях плотности вероятности показателей здоровья.

8. Какова сущность методики оценки риска донозологических и патологических состояний здоровья по статистическим медико-экологическим данным?

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

Абиотические факторы – свойства неживой природы, оказывающие прямое или косвенное влияние на живые организмы.

Авария ядерная – ситуация, связанная с выходом в окружающую среду радиоактивных материалов и ионизирующих излучений, приводящих к значительному облучению персонала, населения и окружающей среды.

Адаптация – процесс приспособления организма или другой биологической системы к изменяющимся условиям среды обитания, выработавшийся в процессе эволюции.

Алармизм – наука, которая акцентирует внимание на катастрофических последствиях воздействия человека на природу.

Аллергены – факторы, способные вызывать аллергию. Аллергенами могут быть микроорганизмы, домашняя пыль, шерсть животных, продукты питания, химические вещества и т.д.

Аллергия – состояние изменённой реактивности организма в виде повышения его чувствительности к повторным воздействиям каких-либо веществ (аллергенов) или к компонентам собственных тканей.

Аллобиоз (аллобиотические состояния) – стойкие изменения реактивности организма на воздействие физических, химических, биологических факторов окружающей среды (в частности, аллергии, иммуносупрессии).

Антропогенные факторы – все формы деятельности человеческого общества, которые приводят к изменению природной среды обитания других биологических видов и непосредственно сказываются на их жизни.

Антропоэкологическая система (антропоэкосистемы) – пространственные подразделения среды обитания человека, характеризующиеся сходством природных, социально-экономических, производственных, эколого-гигиенических и культурно-бытовых условий жизнедеятельности. Эти условия формируют мировосприятие, уровень здоровья, демографическое поведение, образ жизни и др.

Ассимиляция – превращение веществ, поступающих из внешней среды, в собственное тело организма.

Аутомикрофлора – нормальная микрофлора, которая находится внутри или на поверхности органов.

Безопасность – состояние защищённости человека, общества и окружающей среды от чрезвычайной опасности.

Биоаккумуляция – процесс, посредством которого живые организмы накапливают токсиканты, извлекая их из абиотической фазы (воды, почвы, воздуха) и пищи (трофическая передача).

Биогенное вещество – геологические породы, созданные в результате жизнедеятельности живых организмов (каменный уголь, известняк и др.).

Биогеохимическая провинция – территория, характеризующаяся повышенным или пониженным содержанием одного или нескольких химических элементов в почве (или воде), а также в организмах животных и растений, обитающих на этой территории. В пределах биогеохимической провинции у человека могут наблюдаться определённые эндемические болезни, непосредственно связанные с недостаточностью или избыточностью этих элементов, а также инфекционные заболевания, обусловленные особенностями формирования биогеоценозов.

Биогеоценоз (экосистема) – структурно-функциональная единица, состоящая из взаимодействующих биотических и абиотических компонентов, объединённых обменом веществ и энергии в единый природный комплекс.

Биодоступность – способность веществ взаимодействовать немеханическим путем с живыми организмами.

Биокосное вещество – вещество, создающееся одновременно и живыми организмами и косными процессами, например – почвы;

Биологический вид – совокупность популяции, особи которых способны к скрещиванию с образованием плодovитого потомства и населяющие пространство с относительно однородными условиями обитания.

Биологическое загрязнение – проникновение (естественное или в результате деятельности человека) в эксплуатируемые экосистемы и технологические устройства организмов, чуждых данным сообществам и устройствам и обычно там присутствующим в незначительных количествах.

Биомагнификация – увеличение концентрации токсиканта в тканях каждого последующего организма пищевой цепи.

Биосубстрат – биологический материал, забираемый для анализа.

Биосфера (от греч. «биос» – жизнь и «сфера» – шар) – «область жизни», пространство на поверхности земного шара, в котором обитают живые существа.

Биота – совокупность различных живых организмов, населяющих определённую территорию и входящих в состав определённого биогеоценоза.

Биотические факторы – все формы воздействия живых организмов (микроорганизмов, растений, животных и их сообществ) друг на друга.

Биотоп – относительно однородное по абиотическим факторам среды пространство, занятое биоценозом.

Биоценоз – совокупность организмов разных видов, обитающих на одной территории, взаимно связанных в цепи питания и оказывающих друг на друга определённое влияние.

Болезнь – общее или частичное ограничение жизнедеятельности организма, обусловленное срывом компенсаторно-приспособительных реакций организма под воздействием внешних и внутренних факторов и характеризующееся стеснением свободы деятельности.

Валентность экологическая – характеристика способности биологического вида существовать в различных условиях среды обитания.

Вредное вещество – вещество, которое при контакте с организмом человека в случае нарушений требований техники безопасности может вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследования как в процессе контакта с ним, так и в отдалённые сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Время риска – временная вероятность возникновения негативных изменений показателей здоровья населения (или отдельных социальных групп) в связи с неблагоприятными изменениями качества среды его обитания.

Врождённые пороки развития – стойкие морфологические изменения органов ребёнка, выходящие за пределы вариации их строения, возникающие внутриутробно или в постнатальном (после рождения) периоде.

Выживаемость – число особей, сохранившихся в популяции за определённый промежуток времени.

Генотоксичность (генотоксическое действие) – свойство химических, физических и биологических факторов оказывать повреждающее действие на генетические структуры организма.

Географические информационные системы – аппаратно-программный человекомашинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координационных данных, интеграцию сведений и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных географических задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества.

Гигиенический норматив – минимальная и (или) предельная величина количественного показателя, характеризующего отдельный физический, химический, биологический фактор окружающей среды или какое-либо их сочетание.

Гигиеническое нормирование – установление безопасных пределов интенсивности воздействия факторов окружающей среды на организм человека.

Гигиеническое регламентирование – выполнение стандартного набора обязательных требований с целью обеспечения безопасного для здоровья человека производства или применения товарной продукции.

Гигиено-эпидемиологическая (или популяционная гигиеническая) диагностика массовых заболеваний неинфекционной природы – совокупность приёмов и методов, с помощью которых устанавливается причина возникновения «напряжённости» или «неблагополучия» медико-экологической ситуации на соответствующей территории.

Глобальное фоновое загрязнение – загрязнение, имеющее глобальное распространение, обнаруживаемое в различных точках планеты вдали от источников возникновения.

Гомеостаз – динамическое относительное постоянство внутренней среды организма и устойчивость физиологических функций организма.

Группа риска – социальная группа населения, на которую оказано (или может быть оказано) наибольшее воздействие неблагоприятных факторов среды обитания.

Дезактивация – удаление или снижение радиоактивного загрязнения с какой-либо поверхности или из какой-либо среды.

Дозовый риск (DR) – кратность превышения нормативной дозовой нагрузки, характеризующий вероятность накопления вещества в организме и развития токсического эффекта.

Донозологическое состояние – состояние функционального адаптационного напряжения организма, характеризующее переход от нормы к патологии.

Загрязнение окружающей среды – привнесение в окружающую среду или возникновение в ней новых (обычно не характерных для неё) вредных химических, физических, биологических и информационных агентов или превышение в рассматриваемое время естественного среднесуточного уровня концентрации перечисленных агентов в среде, приводящее к негативным последствиям.

Загрязнители (поллютанты, экополлютанты) – вещества, привнесённые в окружающую среду, способные негативно воздействовать на живые организмы за счёт прямого или косвенного влияния на состояние популяций и биоценозов.

Закон физико-химического единства живого вещества – всё живое вещество Земли физико-химически едино. Из закона следует, что вредное для одних видов существ вредно и для других.

Здоровье – состояние полного физического, душевного и социального благополучия, а не только отсутствие болезни или физических дефектов. Статистически характеризуется комплексом социально-экономических и демографических показателей, уровнем физического развития, заболеваемостью и инвалидностью определённой группы населения.

Индивидуальный риск (потенциальный) – вероятность возникновения у отдельного человека неблагоприятных последствий воздействия фактора риска за определённый период времени или в течение всей жизни.

Индикаторные, предположительно экологически обусловленные болезни – заболевания соматического и другого характера среди населения конкретной территории, частота которых за определённый период времени достоверно выше предшествующего за

5–10 лет наблюдений (либо выше регионального, федерального уровня), а причина роста их предположительно может быть отнесена к действию известных местных (региональных) вредных факторов среды обитания.

Интактный (от лат. *intactus* – *непронутый*) – неповреждённый, не вовлечённый в какой-либо процесс.

Интермиттирующий – перемежающийся, характеризующийся периодическими подъёмами и спадами.

Канцероген – фактор, воздействие которого достоверно увеличивает частоту возникновения опухолей в популяции человека или животных и сокращает период развития этих опухолей.

Катастрофическая медико-экологическая ситуация (зона экологического бедствия) – ситуация, характеризующаяся большими (в сравнении с «критической» ситуацией) количественными показателями загрязнения среды обитания и установленной причинно-следственной связью между вредными факторами среды обитания и экологически обусловленными изменениями состояния здоровья населения.

Кислотные дожди – дожди, образующиеся при выбросах в атмосферу диоксида серы и оксидов азота, которые, соединяясь в атмосфере с влагой, образуют серную и азотную кислоты.

Косное вещество – вещество, образующееся без участия живого вещества, например горные породы, возникающие при извержении вулканов.

Коэффициент заболеваемости – показатель, характеризующий частоту возникновения новых случаев заболевания в течение определённого периода времени.

Критическая (чрезвычайная медико-экологическая ситуация) – ситуация, характеризующаяся высокой степенью загрязнения среды обитания, опасностью для населения тех или иных объектов окружающей среды. При этом отмечается повышенный уровень заболеваемости по ряду нозологических форм и классов болезней с возможной регистрацией экологически обусловленной патологии в различных возрастных группах населения.

Ксенобиотик (от греч. *xenos* – *чужой* и *bios* – *жизнь*, т.е. *чуждый жизни*) – чужеродное (не участвующее в пластическом или энергетическом обмене) вещество, попавшее во внутренние среды орга-

низма и способное в определённых дозах существенно модифицировать течение нормальных физиологических процессов.

Ксенобиотический профиль биогеоценоза – совокупность чужеродных веществ, содержащихся в окружающей среде (воде, почве, воздухе и живых организмах) в форме (агрегатном состоянии), позволяющей им вступать в химические и физико-химические взаимодействия с биологическими объектами экосистемы.

Лидирующая патология – болезни различных классов международной классификации болезней, показатели которых на изучаемой территории стабильно (на протяжении ряда лет) достоверно превышают фоновые (или показатели сравниваемых территорий), но причина их роста (или высокого уровня) до определенного времени не установлена. В составе «лидирующей» патологии могут оказаться как установленные позднее в результате анализа причинно-следственных связей «экологически обусловленные» заболевания, так и болезни, обусловленные другими факторами.

Лимитирующий фактор – фактор, который при определённом наборе условий окружающей среды ограничивает какое-либо проявление жизнедеятельности организмов.

Метаболизм – способность живых веществ поглощать и обмениваться с внешней средой энергией и материей.

Микроэлементозы (болезни различных «биогеохимических провинций») – заболевания, обусловленные избытком (или недостатком) содержания отдельных химических элементов в объектах среды обитания и развивающимся их дисбалансом в организме человека.

Митоген – любое вещество, которое может стимулировать начало клеточного деления (процесс митоза).

Мониторинг окружающей среды – система регулярных длительных наблюдений в пространстве и во времени, дающая информацию о состоянии окружающей среды с целью оценки прошлого, настоящего и прогнозов в будущем параметров окружающей среды, имеющих значение для человека.

Морбидность (болезненность) – комплекс негативных показателей здоровья: заболеваемость, трудопотери, смертность, инвалидность.

Мутагенез (мутагенное действие) – процесс, вызывающий мутации, т.е. изменения химической структуры молекул ДНК.

Нейрогуморальный – относящийся к взаимодействию нервной системы и гуморальных (*от лат. humor—жидкость; кровь, лимфа*) факторов.

Нозология (*от греч. болезнь + причина*) – учение о болезнях.

Окружающая среда – комплекс всех объектов, явлений и процессов, внешних по отношению к данному организму, популяции или сообществу организмов, но взаимодействующих с ними за счёт круговорота веществ в природе.

Опасность химических веществ – вероятность возникновения вредных для здоровья эффектов в результате их воздействия.

Ориентировочный безопасный уровень воздействия (ОБУВ) – допустимое содержание загрязняющего вещества, установленное расчётным путём с помощью экспресс-экспериментальных методов прогнозирования токсичности.

Ориентировочный допустимый уровень (ОДУ) – временный гигиенический норматив, применяемый на стадии предупредительного санитарного надзора и устанавливаемый сроком на три года.

Относительно напряжённая медико-экологическая ситуация – ситуация, характеризующаяся некоторой (наименьшей, но регистрируемой) степенью опасности для населения оцениваемых вредных факторов среды обитания. При этом могут развиваться начальные изменения в состоянии здоровья (преимущественно в виде роста числа функциональных нарушений и предпатологии) у наиболее восприимчивой части населения (новорожденных, детей раннего возраста, беременных женщин и др. групп).

Относительный реальный риск – отношение количества или распространённости неблагоприятных реакций на фактор риска у лиц, подвергшихся воздействию этого фактора, к аналогичным показателям у лиц, не подвергшихся влиянию фактора риска.

Отходы потребления – изделия и материалы, утратившие свои потребительские свойства в результате физического или морального износа.

Отходы производства – остатки сырья, материалов, химические соединения, образовавшиеся при производстве продукции и утратившие исходные потребительские свойства.

Оценка риска – процесс установления вероятности развития и степени выраженности неблагоприятных эффектов у человека, обусловленных воздействием факторов окружающей среды. Вклю-

чает следующие элементы: идентификацию опасности, оценку воздействия, оценку зависимости «доза-эффект» и характеристику риска.

Оценка экологического риска – процесс определения вероятности развития неблагоприятных эффектов со стороны биогеоценозов (включая популяции человека) в результате изменений различных характеристик среды обитания.

Показатель распространённости заболеваний (коэффициент распространённости заболеваний) – показатель, характеризующий долю населения, страдающего тем или иным заболеванием в конкретный момент времени.

Поллютант – загрязняющее вещество.

Популяционный риск (потенциальный) – общее число ожидаемых неблагоприятных последствий среди отдельных контингентов населения.

Популяция – совокупность особей одного вида, в течение большого числа поколений населяющих определённое пространство, внутри которого происходит постоянное скрещивание.

Порог вредного действия – количество вещества, при воздействии которого в организме (при конкретных условиях его поступления) возникают изменения, выходящие за пределы физиологических приспособительных реакций, или скрытая (временно компенсированная) патология.

Потенциальный риск – риск возникновения неблагоприятного для человека эффекта, определяемый как вероятность возникновения этого эффекта при заданных условиях. Выражается в процентах или долях единицы.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) – норматив; количество вредного вещества в окружающей среде, при постоянном контакте или при воздействии за определённый промежуток времени практически не влияющее на здоровье человека и не вызывающее неблагоприятных последствий у его потомства.

Предельно допустимый выброс (ПДВ) – выброс вредных веществ в атмосферу, устанавливаемый для каждого источника загрязнения атмосферы при условии, что приземная концентрация этих веществ не превысит ПДК.

Предельно допустимый сброс (ПДС) – масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным ре-

жимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения качества воды в контрольном пункте.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) – то же, что и ПДК, но связанный с загрязнением среды такими специфически загрязнителями, как шум, радиоактивность, электромагнитное излучение и пр.

Преморбидное состояние (*от лат. prae – перед и morbus – болезнь*) (предболезнь) – состояние организма, предшествующее развитию болезни.

Природно-очаговые инфекционные заболевания – болезни, возбудители которых постоянно циркулируют в популяции диких животных-хозяев. Человек является случайным, временным хозяином, как правило, биологическим тупиком для паразита.

Профилактика – совокупность предупредительных мер, направленных на укрепление и сохранение здоровья.

Радиоактивные отходы (РАО) – жидкие, твёрдые и газообразные продукты, образующиеся на всех стадиях ядерного топливного цикла и не представляющие ценности для дальнейшего использования.

Реальный риск – количественное выражение ущерба общественному здоровью, связанного с загрязнением окружающей среды, в величинах дополнительных случаев заболеваний, смерти и др. Обычно определяется при оценке существующей ситуации или ретроспективных исследованиях.

Риск – ожидаемая частота вредных (нежелательных) эффектов у населения, возникающих от заданного воздействия загрязняющих веществ.

Риск для здоровья человека – вероятность развития неблагоприятного эффекта у индивидуума или группы людей при воздействии определённой дозы или концентрации опасного агента в конкретных обстоятельствах.

Синдром больных зданий – комплекс факторов, обусловленных высокой загрязнённостью воздуха помещений, и связанных с этим изменений здоровья населения.

Синергизм – свойство сложных систем, когда результат взаимодействия не является простой суммой отдельных воздействий, а порождает качественно новые результаты, ведущие к усилению эффекта.

Смог – смесь дыма, пыли и загрязняющих веществ (соединений тяжёлых металлов, оксидов серы, азота и углерода), концентрирующаяся в нижних слоях атмосферы и образующая туманную завесу.

Социально-гигиенический мониторинг – государственная система наблюдений за состоянием здоровья населения и среды обитания, их анализа, оценки и прогноза, а также определения причинно-следственных связей между состоянием здоровья населения и воздействием факторов среды обитания.

Специфическое экологически обусловленное заболевание – наблюдаемое среди населения конкретной территории заболевание, доказано связанное с воздействием конкретного вредного фактора среды обитания и проявляющееся характерными для действия причинного фактора симптомами и синдромами.

Среда обитания – часть природы, окружающая живые организмы и оказывающая на них определённое воздействие.

Среда обитания человека – переплетение взаимодействующих биологических, психических, антропогенных экологических факторов, совокупность которых в различных регионах планеты характеризуется своеобразием, обусловливаемым природно-географическими, социально-экономическими и психологическими особенностями.

Стресс – состояние напряжения организма в ответ на воздействие неблагоприятных или, наоборот, исключительно благоприятных факторов.

Суперэкотоксиканты – экотоксиканты, обладающие высокой стойкостью, медленно метаболизирующиеся в организмах, накапливающиеся в них и мигрирующие в окружающей среде по пищевым цепям.

Существенно напряжённая медико-экологическая ситуация – ситуация, характеризующаяся значительным уровнем загрязнения среды обитания, ростом заболеваемости у наиболее восприимчивой части населения, а также достоверным ростом предположительно экологически зависимых болезней среди детей и взрослых, некоторым увеличением детской и суммарной заболеваемости.

Тератогенез – процесс возникновения на стадии внутриутробного развития ненаследуемых уродств.

Территория риска (зона опасности) – территория, в пределах которой может проявляться (или проявляется) патогенное действие вредных факторов на население, в результате чего изменяется (или может измениться) состояние здоровья населения.

Токсикант (см. яд).

Токсикодинамика – процесс взаимодействия химических веществ с объектом и последующие реакции, приводящие к неблагоприятному эффекту.

Токсикокинетика – процесс поглощения организмом потенциально токсичных веществ, их биотрансформации, распределения в тканях и выведения из организма.

Токсины – токсичные полипептиды и белки природного (образуемого микроорганизмами, растениями, животными) происхождения.

Токсическая доза (D) – количество вещества, попавшее во внутренние среды организма и вызвавшее токсический эффект.

Токсическая концентрация (C) – количество вещества, находящееся в единице объема (массы) некоего объекта окружающей среды (воды, воздуха, почвы), при контакте с которым развивается токсический эффект.

Токсический процесс – формирование и развитие реакций биосистемы на действие токсиканта, приводящих к её повреждению или гибели.

Токсическое действие – действие химических соединений, приводящее к нарушению функций биологических систем

Токсичность – основное понятие токсикологии, характеризующее свойство (способность) химических соединений, действуя на биологические системы немеханическим путем, вызывать их повреждение или гибель. Применительно к человеку – вызывать нарушения обмена веществ и физиологических функций, ведущие к развитию заболевания или гибели.

Транзиторные токсические реакции – быстро и самопроизвольно проходящие состояния, сопровождающиеся кратковременной утратой дееспособности (в частности, раздражение слизистых глаз и дыхательных путей, седативно-гипнотические состояния).

Удовлетворительная медико-экологическая ситуация – ситуация, характеризующаяся полной и неограниченной пригодностью среды обитания, её экологической безопасностью и безвредностью для здоровья населения

Управление риском – процесс принятия решений, использующий результаты оценки риска и включающий соображения научно-технического, социально-экономического и политического характера для обоснования наиболее оптимальных регулирующих действий в отношении загрязнения окружающей среды с целью предупреждения или уменьшения опасности для здоровья.

Факторы риска – потенциально опасные для здоровья факторы поведенческого, биологического, генетического, экологического, социального характера окружающей и производственной среды, повышающие вероятность развития заболеваний, их прогрессирование и неблагоприятный исход.

Эвтрофирование (от греч «эвтрофосс» – «тучность») – повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в них биогенных элементов под действием антропогенных и природных факторов.

Экологическая безопасность – состояние защищенности каждого отдельного лица, общества, государства и окружающей среды от чрезмерной экологической опасности.

Экологическая валентность (толерантность, устойчивость, пластичность) – способность живых организмов переносить количественные колебания действия экологических факторов.

Экологическая катастрофа – полное нарушение экологического равновесия в природных живых системах, возникающее, как правило, в результате воздействия человеческой деятельности, а также космических причин.

Экологические факторы – отдельные компоненты или элементы среды, которые воздействуют на организм.

Экологически обусловленная патология – болезни и патологические состояния, развивающиеся среди населения конкретной территории, причинно-следственно связанные с экологическими особенностями районов проживания, сформировавшимися под влиянием природных либо техногенных факторов среды обитания.

Экология – наука о взаимоотношениях живых организмов между собой и со средой обитания, изучающая организацию и функционирование надорганизменных систем различных уровней: популяций, биоценозов, биогеоценозов (экосистем) и биосферы.

Экополлютанты – химические вещества, накапливающиеся в окружающей среде в несвойственных ей количествах и являющиеся причиной изменения естественного ксенобиотического профиля.

Экосистема – система живых организмов и окружающих их неорганических тел, связанных между собой потоком энергии и круговоротом веществ.

Экосфера – сфера современной активной жизни.

Экотоксикант – экополлютант, накопившийся в окружающей среде в количестве, достаточном для инициации токсического процесса в биоценозе (на любом уровне организации живой материи).

Экотоксикодинамика – раздел экотоксикологии, рассматривающий конкретные механизмы развития и формы токсического процесса, вызванного действием экотоксикантов на биоценоз или отдельные виды, его составляющие.

Экотоксикокинетика – раздел экотоксикологии, изучающий судьбу ксенобиотиков (экополлютантов) в окружающей среде: источники их появления, закономерности распределения в абиотических и биотических элементах окружающей среды, превращения и элиминации из неё.

Экотоксикометрия – раздел экотоксикологии, в рамках которого рассматривается методология и перспективно (или ретроспективно) осуществляется оценка токсичности экополлютантов.

Экотоксическая опасность химических соединений – потенциальная способность вещества вызывать повреждение биологических систем при попадании в окружающую среду.

Экотоксичность – способность данного ксенобиотического профиля среды обитания вызывать неблагоприятные эффекты в соответствующем биоценозе.

Эмбриотоксичность (эмбриотоксическое действие) – токсический эффект у эмбриона и плода, включающий структурно-функциональные нарушения, проявляющиеся в виде внутриматочной гибели плода или врождённых пороков развития, нарушения постнатальных функций.

Эпидемиологическая диагностика – распознавание проявлений заболеваемости и эпидемиологического состояния населения на основе эпидемиологических методов исследования и научных данных о причинах, условиях, механизмах возникновения и распространения заболеваемости.

Эссенциальные вещества – незаменимые вещества, не синтезируемые в организме человека, поступающие в организм только с пищей.

Яд (токсикант) – химическое вещество, способное в определённом количестве и определённых условиях среды обитания оказывать повреждающее действие на живые организмы вплоть до их гибели.

Список использованной литературы

1. *Болятко В.В., Демин В.М., Евланов В.В., Ксенофонтов А.И., Скотникова О.Г.* Основы экологии и охраны окружающей среды. М.: МИФИ, 2008. – 320 с.
2. *Иванов В.П., Васильева О.В., Иванова Н.В.* Общая и медицинская экология. Р-н-Д: Феникс, 2010. – 508 с.
3. *Калыгин В.Г.* Промышленная экология: Курс лекций. М.: МНЭПУ, 2000. – 240 с.
4. *Куценко С.А.* Основы токсикологии. СПб.: Фолиант, 2004. – 720 с.
5. *Маймулов В.Г., Нагорный С.В., Шабров А.В.* Основы системного анализа в эколого-гигиенических исследованиях. СПб.: ГМА им. И.И. Мечникова, 2001. – 420 с.
6. *Медоуз Д.Х., Рандерс Й., Медоуз Д.Л.* Пределы роста. 30 лет спустя. М.: Академкнига, 2008. – 342 с.
7. *Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И.* Экологическая эпидемиология. М.: Академия, 2004. – 384 с.
8. *Сахаров В.К.* Радиоэкология. СПб.: Лань, 2006. – 320 с.