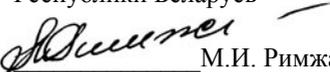


**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

УТВЕРЖДЕНО
Постановление
Главного государственного
санитарного врача
Республики Беларусь


М.И. Римжа
от 5 июля 2004 г. № 63

Инструкция 2.1.6.11–9–29–2004

**ОЦЕНКА РИСКА
ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ
ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКИХ
ВЕЩЕСТВ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ
АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ**

Учреждения-разработчики: Минский городской центр гигиены и эпидемиологии, Министерство здравоохранения Республики Беларусь

Авторы: Ф.А. Германович, П.А. Амвросьев, И.А. Просвирякова, К.П. Новаковская, В.В. Клыпа, М.М. Мазик

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Область применения

В настоящей инструкции представлены правовые и методические основы применения методологии оценки риска, порядок проведения процедуры оценки риска, нормативные показатели качественной оценки риска для здоровья населения.

Инструкция подготовлена в рамках реализации целей и задач социально-гигиенического мониторинга (СГМ) для специалистов органов и учреждений, осуществляющих государственный санитарный надзор, и других заинтересованных лиц, занимающихся проблемами воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения, и предназначена для использования в практической деятельности данных органов и учреждений при:

- проведении комплексной государственной санитарно-гигиенической экспертизы проектных решений в области размещения, строительства новых объектов, реконструкции существующих, обосновании размера санитарно-защитных зон промышленных объектов;

- проведении СГМ;

- оценке ущерба (вреда) здоровью человека от воздействия факторов среды обитания, в том числе при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера;

- установлении причин возникновения и распространения массовых неинфекционных заболеваний, обусловленных воздействием факторов среды обитания человека;

- обосновании приоритетных мероприятий, различных управленческих решений, направленных на устранение или снижение до допустимого уровня риска для здоровья человека.

1.2. Термины и определения

Полный список терминов и определений представлен в Перечне терминов и определений, используемых при проведении процедуры оценки риска, утвержденном Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь 9 июля 2003 г.

Анализ риска — процесс получения информации, необходимой для предупреждения негативных последствий для здоровья и условий жизни человека, состоящий из трех компонентов:

оценки риска, управления риском и распространения информации о риске.

Доза — мера количества вещества, полученного организмом человека или животного, с учетом массы тела, мг/кг.

Дополнительный (избыточный) риск — разность между числом заболеваний раком (канцерогенная инцидентность) при воздействии повреждающего фактора и фоновой заболеваемостью при отсутствии повреждающего фактора.

Ежедневное допустимое поступление (вещества) в организм — величина ежедневной экспозиционной дозы, которая не приносит вреда, даже если воздействие продолжается в течение всей жизни.

Зависимость «доза-ответ» — корреляция между уровнем экспозиции (дозой) и долей экспонированной популяции, у которой развился специфический эффект.

Зависимость «доза-эффект» — связь между дозой и степенью выраженности эффекта у экспонированной популяции.

Загрязнение атмосферного воздуха — изменение состава атмосферного воздуха в результате привнесения в него примесей.

Идентификация опасности — этап оценки риска, предусматривающий выявление всех потенциально опасных факторов, оценку весомости доказательств их способности вызывать определенные вредные эффекты у человека при предполагаемых условиях воздействия, а также отбор приоритетных факторов, подлежащих углубленному исследованию в процессе оценки риска.

Индивидуальный (единичный) — вероятность того, что конкретный человек будет испытывать последствия вредного воздействия.

Канцерогенный риск — вероятность развития новообразований на протяжении всей жизни человека, обусловленная воздействием потенциального канцерогена; верхняя доверительная граница дополнительного пожизненного риска.

Критические органы или системы — те органы или системы, в которых при возрастании уровня дозы возникает первый вредный эффект или его известный предвестник.

Оценка для здоровья человека — это количественная и/или качественная характеристика вредных эффектов, способных развиваться в результате воздействия факторов окружающей среды на конкретную группу людей при специфических условиях экспозиции.

Оценка зависимости «доза-ответ» (один из компонентов процедуры оценки риска) — характеристика связи между дозой введенного или полученного агента и числом случаев вредного для здоровья эффекта в экспонируемой популяции.

Оценка риска — многоступенчатый процесс, направленный на выявление или прогнозирование вероятности неблагоприятного для здоровья результата воздействия вредных веществ, загрязняющих среду обитания или производственную среду.

Оценка экспозиции (один из этапов оценки риска) — определение и оценка (качественная и количественная) уровней, продолжительности, частоты и путей воздействия исследуемых факторов на оцениваемые группы населения.

Референтные (безопасные) уровни воздействия — дозы или концентрации химических веществ, воздействие которых на популяцию, включая ее чувствительные подгруппы, не вызовет каких бы то ни было уловимых вредных эффектов.

Риск для здоровья — вероятность развития неблагоприятного эффекта у индивидуума или группы людей при воздействии определенной дозы или концентрации опасного агента.

Факторы риска — факторы, провоцирующие или увеличивающие риск развития определенных заболеваний; некоторые факторы могут являться наследственными или приобретенными, но в любом случае их влияние проявляется при определенном воздействии.

Характеристика риска — установление источников возникновения и степени выраженности риска при конкретных сценариях и маршрутах воздействия изучаемых факторов. На данном этапе оценки риска интегрируется информация, полученная на предшествующих этапах, с целью ее последующего использования на стадии управления риском.

Экспозиция (воздействие) — контакт организма с химическим агентом; количество агента, присутствующего на обменных оболочках тела, доступного для абсорбции.

1.3. Порядок проведения оценки риска

Исследования по оценке риска осуществляются в соответствии с полной (базовой) и сокращенной схемами, согласно Руководству «Порядок проведения оценки риска для здоровья населения от воздействия химических веществ, загрязняющих окружающую среду» № 11–8–7–2003, утвержденному Главным государственным санитарным врачом Республики Беларусь 9 июля 2003 г.

Полная (базовая) схема оценки риска предусматривает проведение четырех этапов:

1. Идентификация опасности.
2. Оценка воздействия (экспозиции) химических веществ на человека.
3. Оценка зависимости «доза-ответ».
4. Характеристика риска.

Сокращенная схема применяется при скрининговой оценке, которая проводится для уточнения задач исследований, а также экспресс-оценки конкретной санитарно-эпидемической обстановки. Скрининговая оценка может включать часть этапов, входящих в базовое исследование, например, идентификацию опасности. Если на этом этапе установлено, что исследуемые химические вещества не представляют реальной опасности для здоровья или имеющиеся данные об экспозициях или показателях опасности не достаточны для оценки риска и нет никаких возможностей для их даже ориентировочной характеристики, то последующие этапы оценки риска не проводятся.

Исследования по оценке риска могут иметь различную временную направленность.

Ретроспективные исследования ставят своей целью оценку риска, обусловленного предшествующими воздействиями химических веществ, загрязняющих среду обитания человека, и требуют реконструкции воздействий, имевших место в прошлом.

Текущая оценка риска связана с существующим на момент исследований химическим загрязнением окружающей среды.

Перспективная оценка риска характеризует те уровни риска, которые, вероятно, будут наблюдаться через определенный, заданный период времени при конкретном сценарии воздействия.

2. ПЕРВЫЙ ЭТАП ОЦЕНКИ РИСКА. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТИ

2.1. Выявление источников загрязнения окружающей среды и возможного воздействия их на человека

Первый этап оценки риска начинается с подробного описания физической среды и детализированной исторической характеристики исследуемой территории.

Характеристика физической среды включает в себя анализ следующих свойств и показателей:

- климат (температурный режим, количество осадков, относительная влажность, высота местности, количество дней с устойчивым снежным покровом, процесс циркуляции воздушных масс и т. д.);
- метеоусловия (скорость и направление ветра, повторяемость штилей, туманов, приземных инверсий температуры и т. д.);
- растительность (травяной покров, древесная растительность и т. д.);
- гидрология подземных водных источников (глубина, направление и тип потока);
- место расположения и описание поверхностных водоемов (тип, скорость течения, соленость и т. д.).

На этапе идентификации опасности устанавливается и характеризуется потенциально экспонируемая популяция, причинная связь между экспозицией химического вещества и случаями и/или тяжестью неблагоприятных эффектов на здоровье человека.

Основная задача этапа — выбор приоритетных индикаторных химических веществ, изучение которых позволит с достаточной надежностью охарактеризовать уровни риска нарушений в состоянии здоровья населения и источники его возникновения.

Идентификация опасности имеет скрининговый характер и предусматривает:

- выявление всех источников загрязнения атмосферного воздуха и возможного воздействия их на человека;

- предварительную формулировку сценария и маршрутов воздействия вредных факторов, составление перечня потенциально опасных химических веществ;

- характеристику потенциально вредных эффектов химических веществ и оценку научной доказанности возможности развития этих эффектов у человека;

- анализ достаточности и надежности имеющихся данных о загрязнении приоритетных объектов окружающей среды и разработку плана дополнительных исследований, необходимых для корректной оценки экспозиции;

- выбор приоритетных для исследования химических веществ;

- характеристику неопределенности идентификации опасности.

Характеристика групп населения, проживающего в исследуемой зоне и вблизи от нее, предусматривает анализ мест проживания (локализация и расстояние от источника загрязнения окружающей среды), видов деятельности, выявление чувствительных групп. В анализ следует включать все популяции, потенциально подверженные воздействию исследуемых факторов, даже если они проживают вдали от источника загрязнения, а также население, которое может подвергаться воздействиям в будущем.

Характеристика человеческой деятельности в исследуемой зоне предполагает оценку текущего и будущего землепользования. В зависимости от вида человеческой деятельности выделяют следующие наиболее типичные зоны:

- жилая (селитебная);
- производственная/коммерческая;
- рекреационная;
- сельскохозяйственная.

Оценка человеческой деятельности проводится по следующей схеме:

1. Определение времени, которое потенциально экспонируемая популяция проводит в загрязненной зоне.

2. Определение времени, которое потенциально экспонируемая популяция проводит в помещении, на открытой местности, в транспорте и так далее, с учетом характера деятельности человека в течение суток.

3. Определение зависимости человеческой деятельности от сезона года.

4. Определение возможности временного или постоянного нахождения населения в загрязненной зоне.

5. Идентификация любых специфических для исследуемой зоны характеристик популяции, которые могут повлиять на экспозицию.

При проведении идентификации опасности на определенной территории необходимо установить все существующие или существовавшие в прошлом источники загрязнения объектов окружающей среды. При этом в связи с возможностью пространственного распределения загрязнения нельзя ограничиваться только источниками, расположенными в пределах исследуемой территории. Обязательному учету подлежат все те источники, которые потенциально могут привести к воздействию на население, проживающее в исследуемой зоне.

В том случае, когда проводимые исследования направлены на оценку риска для здоровья населения, обусловленного каким-либо конкретным объектом, например промышленным предприятием, наиболее важным источником информации являются сведения о качественном и количественном составе выбросов данного объекта, их пространственных и временных характеристиках.

Помимо стационарных источников выбросов учитывается и влияние автотранспорта на загрязнение приземного слоя атмосферы населенного пункта.

2.2. Предварительная формулировка сценария и маршрутов воздействия потенциально вредных факторов

На этапе идентификации опасности с учетом конкретных задач оценки риска формируется концептуальная модель исследуемой

дуемой территории, выделяются основные маршруты и пути воздействия химических веществ, которые в последующем уточняются на этапе оценки экспозиции. Одновременно составляется общий перечень всех химических веществ, способных присутствовать в окружающей среде исследуемой территории.

Сценарий экспозиции — совокупность факторов, научных предположений, допущений и заключений о том, каким образом происходит воздействие: воздействующие вещества, маршрут воздействия, точки воздействия, пути поступления химического соединения в организм человека, экспонируемые группы населения.

Маршрут воздействия (обязательная составная часть любого сценария) — физический путь загрязнения от источника его образования и поступления в окружающую среду до экспонируемого организма. Он включает в себя:

- источник и механизм поступления химического вещества в окружающую среду;
- воспринимающую (первично загрязняемую), транспортирующую, аккумулирующую и воздействующую среды;
- место потенциального контакта человека с загрязненной окружающей средой (точка воздействия);
- контакт человека с химическим веществом при потреблении воды, продуктов питания, дыхании и через кожные покровы (пути поступления).

Как правило, сценарий воздействия включает несколько маршрутов.

2.3. Характеристика опасности потенциально вредных факторов

1. Характеристика опасности химических канцерогенов.

Основными задачами процесса идентификации опасности потенциально канцерогенных химических соединений являются:

- установление степени доказанности канцерогенности исследуемого вещества для человека;
- выявление условий, при которых может реально проявиться канцерогенный эффект, и оценка соответствия этих условий специфическим особенностям выбранного сценария воздействия.

Весомость доказательств канцерогенности исследуемого химического вещества для человека оценивается на основании существующих классификаций.

В соответствии с классификацией Международного агентства по изучению рака (МАИР) выделяются следующие группы агентов:

1-я группа — канцерогены для человека. К данной группе относятся вещества, по которым имеются достаточно надежные эпидемиологические данные об их канцерогенной опасности для человека, то есть установлены значения риска по отдельным веществам для отдельных локализаций. Например, из веществ, загрязняющих атмосферный воздух, в эту группу входят: бензол, винилхлорид, шестивалентный хром, асбест, мышьяк, кадмий, диоксины, никель, эпихлоргидрин и т. д.

2-я группа включает в себя:

– **2А подгруппу** — вероятные канцерогены для человека. В отношении данных веществ имеются ограниченные доказательства их канцерогенной опасности для человека. В эту группу входят такие канцерогены, как: бенз(а)пирен, формальдегид, 1,3-бутадиен, акрилонитрил, дихлорметан, тетрахлорэтилен, трихлорэтилен, бериллий и т. д.

– **2В подгруппу** — возможные канцерогены для человека. В отношении данных веществ имеются ограниченные доказательства их канцерогенной опасности для животных, например: гексахлоран, гидразин, 1,2-дихлорпропан, 1,2-дихлорэтандиндан и т. д.

3-я группа — агенты, которые не классифицируются как канцерогены для человека.

4-я группа — вещества, в отношении которых имеются доказательства их неканцерогенности для человека.

В соответствии с классификацией Агентства США по охране окружающей среды (US EPA) потенциальные канцерогенные агенты подразделяются на следующие группы:

A — канцерогены для человека;

B1 — вероятные канцерогены для человека (ограниченные доказательства канцерогенности для человека);

B2 — вероятные канцерогены для человека (достаточные доказательства канцерогенности для животных и недостаточные доказательства или отсутствие данных о канцерогенности для человека);

C — возможные канцерогены для человека;

D — агенты, которые не классифицируются как канцерогены для человека;

E — вещества, в отношении которых имеются доказательства их неканцерогенности для человека.

В качестве потенциальных химических канцерогенов при оценке риска принимаются вещества, относящиеся к группам 1, 2A, 2B по классификации МАИР и к группам A, B1, B2 по классификации US EPA. Вещества группы C по классификации US EPA включаются в анализ исходя из задач исследований при наличии сведений о факторах канцерогенного потенциала и других поддерживающих данных. Канцерогенные риски веществ группы C целесообразно рассматривать отдельно от других канцерогенов с обязательным указанием на большую неопределенность подобных оценок. Вещества, обладающие канцерогенными свойствами, приведены в Гигиенических нормативах 10–66 РБ 98 «Перечень веществ, продуктов, производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека», утвержденных постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 29 апреля 1998 г. № 18.

Степень выраженности канцерогенности оценивается по величине фактора канцерогенного потенциала и единичному риску. Сведения о канцерогенности веществ при ингаляционном пути поступления в организм представлены в Приложении 1.

Многие химические канцерогены способны вызывать не только канцерогенные, но и токсические эффекты. В связи с этим оценка опасности подобных веществ должна осуществляться с учетом их как канцерогенного, так и неканцерогенного действий.

При отборе приоритетных загрязняющих веществ учитываются вид источника загрязнения, состав загрязнения, количество поступающего в окружающую среду вещества, загрязняемые объекты окружающей среды, географическое распространение

загрязнения, стабильность, биоаккумуляция, острая, подострая, хроническая токсичность для человека и животных, канцерогенность, тератогенность и т. д.

Приоритетные химические соединения делятся на следующие группы:

A1 — токсичные, биоаккумулирующие и стойкие вещества, поступление которых в окружающую среду должно быть запрещено;

A2 — токсичные, биоаккумулирующие и стойкие вещества, поступление которых в окружающую среду должно быть ограничено;

B1 — токсичные, биоаккумулирующие вещества;

B2 — стойкие и токсичные вещества;

B3 — токсичные вещества;

C — стойкие и биоаккумулирующие вещества.

При предварительном ранжировании потенциальных канцерогенов по степени их опасности целесообразно исходить из величины возможной экспозиции, численности потенциально подверженного воздействию населения, степени доказанности канцерогенного действия и его выраженности.

На этапе идентификации опасности ориентировочной мерой экспозиции могут служить: имеющиеся лабораторные или расчетные данные о концентрациях вещества в анализируемых объектах окружающей среды, сведения о величине промышленного выброса в атмосферу. Характеристика канцерогенности вещества проводится с использованием весовых коэффициентов, величины которых устанавливаются в зависимости от значений фактора канцерогенного потенциала и группы канцерогенности в соответствии с классификацией US EPA (см. Приложение 2, табл. 1).

При выявлении в ходе инвентаризации выбросов канцерогенов вычисляется ранговый индекс канцерогенной опасности ($HRi_{\text{канц.}}$) по формуле:

$$HRi_{\text{канц.}} = E \times Wc \times P / 10000, \quad (1)$$

где Wc — весовой коэффициент канцерогенной активности (см. Приложение 2, табл. 1);

Р — численность популяции под воздействием;

Е — величина условной экспозиции (объем годового выброса, т/год).

При наличии сведений о концентрациях веществ в объектах окружающей среды оценка их сравнительной опасности проводится с использованием величин индивидуального и популяционного канцерогенных рисков.

2. Характеристика опасности неканцерогенных эффектов.

При оценке риска развития неканцерогенных эффектов исходят из предположения о наличии порога вредного действия, ниже которого вредные эффекты не развиваются. В методологии оценки риска широко используются понятия наименьший уровень экспозиции (LOAEL) и уровень необнаружения вредных эффектов (NOAEL).

LOAEL — уровень, при котором наблюдается вредный эффект.

NOAEL — наивысшая доза или концентрация, при которой современными методами исследований не удается выявить вредных для здоровья эффектов (в отечественной литературе аналогом этого термина является максимальная недействующая доза или концентрация).

На этапе идентификации проводится анализ данных о референтных уровнях для острого и/или хронического воздействий химических веществ, включенных в предварительный перечень приоритетных, для последующего анализа риска. Одновременно необходимо установить такие критические органы/системы и эффекты, которые соответствовали бы установленным референтным дозам/концентрациям.

Источниками сведений о показателях опасности развития токсических эффектов являются: Гигиенические нормативы 2.2.5.–10–39–2003 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 31 декабря 2003 г. № 224; Гигиенические нормативы 2.2.5.–10–40–2003

«Ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 31 декабря 2003 г. № 225.

Сведения о критических органах/системах, а также референтные концентрации при кратковременном и хроническом ингаляционном воздействии химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух, приведены в Приложении 3.

Для предварительного ранжирования веществ, не обладающих канцерогенным риском, проводится расчет рангового индекса неканцерогенной опасности ($HRi_{\text{неканц.}}$) по формуле:

$$HRi_{\text{неканц.}} = E \times TW \times P / 10000, \quad (2)$$

где TW — весовой коэффициент неканцерогенной активности (см. Приложение 2, табл. 2).

При наличии расчетных значений концентраций или данных мониторинга содержания химических веществ в окружающей среде наиболее надежным способом ранжирования является предварительный расчет рисков.

2.4. Анализ достаточности и надежности имеющихся данных о загрязнении приоритетных объектов окружающей среды, разработка плана дополнительных исследований

Наряду с анализом поступления химических веществ в атмосферу от учтенных источников загрязнения, для составления предварительного перечня приоритетных веществ используются имеющиеся результаты санитарно-химических исследований изучаемой территории.

Перед проведением анализа все собранные данные группируются с учетом исследуемого объекта окружающей среды и мест отбора проб. В анализ следует включать не только итоговые статистические параметры, но и все измеренные разовые концентрации с указанием даты отбора проб. Это особенно важно, если задачей исследований является характеристика риска острых воздействий химических соединений.

При оценке имеющихся химико-аналитических данных рекомендуется наносить на географическую карту места отбора проб химических соединений, расположение потенциальных источников загрязнения и мест проживания населения. Это позволит наглядно представить, в какой степени места отбора проб характеризуют потенциальную экспозицию химических веществ на население, и решить вопрос о возможности экстраполяции полученных данных на всю исследуемую территорию.

На данном этапе проводится анализ надежности и достаточности имеющихся сведений о загрязнении приоритетных объектов окружающей среды. В случае недостаточности данных, характеризующих уровни загрязнения исследуемой территории, разрабатывается план дополнительных исследований, целью которых является получение как лабораторных, так и расчетных данных об экспозиции на исследуемой территории.

2.5. Выбор приоритетных для исследования химических веществ

На начальных этапах идентификации опасности составляется максимально полный перечень всех химических веществ, которые могут загрязнять атмосферный воздух на исследуемой территории. В последующем данный перечень подвергается анализу с целью выявления химических соединений, представляющих повышенную опасность.

Формирование окончательного перечня исследуемых веществ осуществляется поэтапно:

1. Сбор данных о загрязнителях атмосферного воздуха, потенциально способных воздействовать на здоровье населения.
2. Анализ опасности (вредности для здоровья человека), а также имеющейся информации о концентрациях химических веществ в атмосферном воздухе.
3. Предварительное ранжирование химических веществ с учетом объема их поступления в окружающую среду и степени выраженности их канцерогенных и токсических свойств.
4. Определение типичных сценариев экспозиции для выбранных веществ.

5. Расчет рисков для сценариев воздействия.

6. Ранжирование химических веществ с учетом полученных значений канцерогенных и неканцерогенных рисков, составление окончательного перечня приоритетных химических соединений, подлежащих дальнейшей оценке.

Ведущими критериями для выбора приоритетных загрязняющих веществ являются их токсические свойства, распространенность в окружающей среде и вероятность воздействия на человека. Среди различных критериев приоритетности принято выделять следующие основные критерии:

- количество вещества, поступающего в окружающую среду (атмосферный воздух);
- численность населения, потенциально подверженного воздействию;
- высокая стойкость (персистентность);
- способность вещества к биоаккумуляции;
- способность вещества к межсредовому распределению и миграции из одной среды в другие;
- опасность для здоровья человека;
- способность вызывать нарушения химических процессов в атмосфере;
- способность нарушать прозрачность атмосферы.

Исключение химических соединений из первоначального перечня анализируемых веществ осуществляется в соответствии со следующими критериями:

- отсутствие результатов измерений концентраций вещества или ненадежность имеющихся данных об уровне экспозиции;
- концентрация соединения ниже естественных фоновых уровней;
- вещество обнаружено в незначительном числе проб (мее 5%);
- концентрация вещества существенно ниже референтных (безопасных) уровней воздействия;
- величина коэффициента опасности (HQ) меньше 0,1;
- канцерогенный риск меньше 10^{-6} при комбинированном действии с другими химическими соединениями, обладающи-

ми однородным действием и/или влияющими на одни и те же органы или системы;

– исключение данного соединения не приведет к существенному снижению суммарного риска;

– отсутствие выраженной токсичности и данных о канцерогенности для человека;

– отсутствие данных о биологическом действии вещества;

– невозможность ориентировочного прогноза показателей токсичности и опасности;

– концентрация исследуемого вещества не приводит к превышению дозы рекомендуемого суточного потребления.

Исключение веществ из последующего анализа является ответственной задачей. На территории с большим числом загрязняющих веществ существенное сокращение перечня анализируемых химических соединений может резко и с непредсказуемой ошибкой исказить итоговые величины рисков и привести к неверным результатам при ранжировании источников риска.

Необходимо отметить, что соблюдение действующих гигиенических нормативов не является основанием для исключения вещества из перечня анализируемых химических соединений. В связи с тем, что данные нормативы для ряда химических канцерогенов были установлены без учета их канцерогенного эффекта, существующие уровни ПДК у некоторых веществ могут быть связаны с высокими значениями потенциального канцерогенного риска.

При рассмотрении вопросов идентификации приоритетных для оценки риска химических веществ необходимо также учитывать то обстоятельство, что ПДК для многих веществ установлены по органолептическим и общесанитарным критериям вредности. Так, для 38% веществ, нормированных в атмосферном воздухе, ПДК установлены исходя из их рефлекторного действия, и только 37% нормированных веществ имеют резорбтивный признак вредности. Очевидно, что сравнение реальных уровней воздействия с действующими нормативами не даст истинного представления о риске.

2.6. Характеристика неопределенности идентификации опасности

Обязательным этапом идентификации опасности является полное описание всех ошибок, неточностей, недостаточно надежных предположений и заключений, которые могут отразиться на конечных результатах характеристики риска и формулируемых выводах.

Основными источниками неопределенности этапа идентификации опасности являются:

- неполные или неточные сведения об источниках загрязнения окружающей среды, качественных и количественных характеристиках эмиссий химических веществ;
- ошибки в прогнозе судьбы и транспорта химических веществ в атмосферном воздухе;
- ошибки при установлении степени полноты, достоверности и репрезентативности химико-аналитических данных;
- слабая доказательность или отсутствие данных о вредных эффектах на человека.

На этапе идентификации опасности, как правило, невозможно провести количественную характеристику неопределенностей. Чаще всего на данном этапе удается только качественно проанализировать влияние различных компонентов неопределенностей.

3. ВТОРОЙ ЭТАП ОЦЕНКИ РИСКА. ОЦЕНКА ЭКСПОЗИЦИИ

3.1. Оценка экспозиции

Цель данного этапа — определение и оценка уровней, продолжительности, частоты и путей воздействия исследуемых факторов как на популяцию в целом, так и на ее отдельные субпопуляции, включая сверхчувствительные группы.

Оценка экспозиции предусматривает:

- характеристику условий воздействия, включающую анализ физических свойств среды и определение потенциально экспонируемой популяции;
- определение маршрутов, потенциальных путей распространения, транспортных и воздействующих сред;

– формирование окончательного сценария воздействия с установлением мест потенциального контакта определенных групп населения с вредными факторами и путей поступления их в организм;

– количественную характеристику уровней экспозиции с определением концентраций и расчетом доз воздействия.

3.2. Количественная характеристика уровней экспозиции

Величина экспозиции — измеренное или рассчитанное количество агента в конкретном объекте окружающей среды, находящегося в соприкосновении с так называемыми пограничными органами человека (легкие, пищеварительный тракт, кожа) в течение какого-либо точно установленного времени.

Экспозиция может быть выражена как общее количество вещества в окружающей среде (в единицах массы, например, мг), или как величина воздействия (масса вещества, отнесенная к единице времени, например, мг/сут), или как величина воздействия, нормализованная с учетом массы тела человека (например, мг/кг×сут).

Количественная характеристика уровней экспозиции предусматривает первоначальную оценку воздействующих концентраций.

Воздействующие концентрации устанавливаются чаще всего на основе: результатов мониторинга объектов окружающей среды; моделирования распространения и поведения химических веществ в окружающей среде; комбинации результатов мониторинга с данными, полученными при применении моделирования.

Лабораторные измерения, выполненные в соответствии с действующими нормативными документами в режиме мониторинга, могут дать объективную информацию о состоянии атмосферного воздуха. Расчетные методы позволяют построить полноценную модель загрязнения объекта окружающей среды с возможностью оценки в любой точке изучаемого пространства. Наиболее надежным источником получения информации о реальных и потенциальных дозовых нагрузках является комбинация лабораторных и расчетных методов.

При оценке экспозиции должен оцениваться не только ее уровень (то есть концентрации вещества в среде), но и фактор времени. Именно это дает возможность косвенно судить о получаемой дозе, даже если она не может быть определена непосредственно.

При оценке экспозиционных нагрузок принято выделять три типа воздействия:

- острое — при продолжительности воздействия до 14 сут;
- подострое — максимальная длительность экспозиций составляет 10–12% средней продолжительности жизни (8 лет);
- хроническое — длительность экспозиций превышает 10–12% средней продолжительности жизни (более 8 лет).

Время осреднения экспозиции определяется специалистом в зависимости от характера воздействующего агента и сценария воздействия.

Для веществ, обладающих неканцерогенными свойствами, период осреднения экспозиции равен количеству лет постоянного проживания на загрязненной территории. При оценке канцерогенного риска в качестве характеристики экспозиции канцерогена используется потенциальная средняя суточная доза за период осреднения экспозиции, равный продолжительности жизни человека.

Для оценки риска, обусловленного хроническими воздействиями химических веществ, применяются среднегодовые концентрации.

Для оценки острых воздействий, используются максимальные разовые концентрации.

В случае отсутствия данных о среднегодовых концентрациях можно воспользоваться информацией о том, что максимальные разовые, среднесуточные, среднемесячные и среднегодовые концентрации соотносятся как 10:4:1,5:1, то есть среднегодовая концентрация обычно на один порядок меньше максимальной разовой.

При расчете потенциальных доз следует ориентироваться на оценку разумного (обоснованного) максимального воздействия. В качестве меры концентрации в точке воздействия для условий хронических экспозиций чаще всего используется 95%-й верх-

ний доверительный интервал средней арифметической величины за период усреднения концентрации.

Средние величины потенциальных доз (50-й перцентиль) применяются при относительно небольшом числе данных, а также в тех случаях, когда проект исходно был нацелен на оценку центральной тенденции.

Крайние максимальные значения потенциальных доз допустимо использовать при малом числе данных и/или большом размахе их колебаний. Однако в этом случае оценка экспозиции, а следовательно, и риска будет сильно завышена, причем, степень ее агgravации остается неизвестной. Данный факт должен быть обязательно отражен в анализе неопределенностей, связанных с расчетом доз и риска.

3.3. Расчет доз воздействия

В исследованиях по оценке риска в качестве меры экспозиции используется, как правило, потенциальная доза или величина поступления.

Для расчета потенциальной дозы (поступления) используются три категории переменных:

- переменные, связанные с химическим веществом (воздействующие концентрации);
- переменные, описывающие экспонируемую популяцию (величина контакта, частота и продолжительность воздействия, масса тела);
- переменные, установленные исследователем (время осреднения экспозиции).

Наиболее распространенной мерой экспозиции является общая потенциальная доза, которая рассчитывается по формуле:

$$TPD = C \times IR \times ED, \quad (3)$$

где TPD — величина потенциальной дозы, мг/сут;

C — концентрация загрязняющего вещества в объекте окружающей среды, мг/м³;

IR — величина (скорость) поступления, зависящая от скорости ингаляции (объема легочной вентиляции, м³/сут).

ED — продолжительность воздействия, лет.

Среднесуточная потенциальная доза (ADD_{pot}) рассчитывается по следующей формуле:

$$ADD_{pot} = TPD / (BW \times AT), \quad (4)$$

где BW — масса тела человека, кг;

AT — время осреднения воздействия.

Величина поступления химического вещества рассчитывается с учетом воздействующей концентрации, величины контакта, частоты и продолжительности воздействия, массы тела и времени осреднения экспозиции:

$$I = \frac{C \times IR \times ED \times EF}{BW \times AT}, \quad (5)$$

где I — величина поступления (количество химического вещества на границе обмена), мг/кг×сут;

EF — частота воздействия, дней/год;

BW — средняя масса тела в период экспозиции, кг;

AT — время осреднения; период осреднения экспозиции, дней.

При оценке канцерогенных рисков используют средние суточные дозы, усредненные с учетом ожидаемой средней продолжительности жизни человека.

$$LADD = \frac{C \times IR \times ED \times EF}{BW \times AT \times 365}, \quad (6)$$

где $LADD$ — средняя суточная доза в течение жизни, мг/кг×сут;

C — концентрация вещества в атмосферном воздухе, мг/м³;

AT — период осреднения экспозиции (для канцерогенов — 70 лет);

365 — число дней в году.

При расчете дозы химического вещества, поступающего с атмосферным воздухом, для сценария жилой зоны учитываются: концентрация загрязнителя в атмосферном воздухе и в воздушной среде помещения; масса тела детей и/или взрослых; время пребывания человека внутри помещения и вне его; скорость дыхания или суточный объем потребления воздуха внутри помещения и вне его; частота и продолжительность воздействия (для сценариев жилых районов частота воздействия — 350 дней/год; допускается, что жители проводят двухнедельный отпуск вдали от дома); период осреднения экспозиции.

$$I = (C \times T_{\text{out}} \times V_{\text{out}}) + (C_h \times T_{\text{in}} \times V_{\text{in}}) \times EF \times \frac{ED}{BW \times AT \times 365}, \quad (7)$$

где C_h — концентрация вещества в воздухе жилища, мг/м³ (стандартное значение — $1,0 \times C_a$);

T_{out} — время, проводимое вне помещений, ч/сут (стандартное значение — 8 ч/сут);

T_{in} — время, проводимое внутри помещений, ч/сут (стандартное значение — 16 ч/сут);

V_{out} — скорость дыхания вне помещений, м³/ч (стандартное значение — 1,4 м³/ч);

V_{in} — скорость дыхания внутри помещения, м³/ч (стандартное значение — 0,63 м³/ч);

EF — частота воздействия, дней/год (стандартное значение — 350 дней/год);

ED — продолжительность воздействия, лет (стандартное значение — 30 лет; дети — 6 лет);

BW — масса тела, (стандартное значение — 70 кг; дети — 15 кг);

AT — период осреднения экспозиции, лет (стандартное значение — 30 лет; дети — 6 лет; канцерогены — 70 лет).

Средняя суточная доза на день воздействия (ADD_d) формирует основу для расчета доз не только хронического и пожизненного воздействий, но и для острого и подострого. Общая формула для расчета хронической средней дозы имеет следующий вид:

$$ADD_{\text{ch}} = ADD_d \times EF / DPY, \quad (8)$$

где ADD_{ch} — средняя суточная доза, осредненная на хроническую экспозицию;

DPY — число дней в году.

Если частота воздействия составляет 365 дней в году, то ADD_{ch} равна среднесуточной.

Средняя суточная доза в течение жизни может рассчитываться из одной или нескольких ADD_{ch} :

$$LADD = \frac{(ED_b \times ADD_{\text{chb}}) + (ED_c \times ADD_{\text{chc}}) + (ED_a \times ADD_{\text{cha}})}{AT}, \quad (9)$$

где ED_b — продолжительность экспозиции для детей младшего возраста (0–6 лет) — 6 лет;

ED_c — продолжительность экспозиции для детей старшего возраста (6–18 лет) — 12 лет;

ED_a — продолжительность экспозиции для взрослых (18 и более лет) — 12 лет;

ADD_{chb} — хроническая средняя суточная доза для детей младшего возраста, мг/кг×сут;

ADD_{chc} — хроническая средняя суточная доза для детей старшего возраста, мг/кг×сут;

ADD_{cha} — хроническая средняя суточная доза для взрослых, мг/кг×сут.

Следовательно, пожизненная средняя суточная доза рассчитывается как средневзвешенная доза для трех периодов жизни. Длительность воздействия — количество лет, в течение которых длится данный способ воздействия. В знаменателе стоит время осреднения — период, на который усредняется общая доза или распространяется пропорционально по блокам лет. Для канцерогенных эффектов время осреднения учитывает продолжительность жизни человека, невзирая на длительность воздействия. С того момента, как воздействие становится ежедневным, ADD_{ch} — ниже ADD_d . Данная формула допускает, что способ воздействия остается неизменным в течение всего хронического воздействия. Длительность воздействия (годы) эквивалентна числу лет, на которые общая доза осреднялась, и эти факторы не появляются в формуле для расчета ADD_{ch} .

Если воздействие приходится на короткий период, то оно оценивается отдельно как острое или подострое. Для условий экспозиции в жилой зоне, продолжительность которой может быть больше одного возрастного периода жизни, необходимо рассчитывать суточную и хроническую дозы отдельно для каждого периода жизни, так как различным возрастам присущи специфические значения величин контакта и массы тела.

3.4. Характеристика неопределенности оценки экспозиции

Источниками неопределенности при оценке экспозиции могут являться:

– результаты мониторинга, особенно если они не отражают текущее состояние окружающей среды;

– модели экспозиции, исходные предположения и вводимые параметры, используемые для расчета концентраций в точке воздействия;

– значения физиологических факторов экспозиции, выбранные для расчета величины поступления химических веществ;

– предположения о частоте и продолжительности различных видов деятельности населения;

– выбранные значения времени осреднения (например, кратковременное воздействие высоких доз может приводить к такому же канцерогенному эффекту, что и хроническое действие малых доз) и пр.

Источники неопределенности сценария включают: ошибки описания (например, информационные ошибки, обусловленные неверной или устаревшей информацией о производителях, поставщиках, потребителях химической продукции, сферах ее использования); ошибки агрегации (заключение о гомогенности популяции, предположение об устойчивом равновесном состоянии динамического процесса, применение двухмерной математической модели для представления трехмерного пространства и т. д.); ошибки профессионального суждения (выбор сценария, моделей, недостаточная опытность эксперта).

Источники неопределенности параметров включают ошибки измерений, ошибки при отборе проб, вариабельность, использование обобщенных или суррогатных данных.

Наряду с анализом неопределенностей при оценке экспозиции необходимо проводить и анализ вариабельности.

Вариабельность воздействия связана с активностью индивидуумов, их поведением, а также с показателями эмиссии загрязняющих веществ, физико-химическими процессами, изменяющими концентрации химических веществ в различных средах. Выделяют три типа вариабельности:

– вариабельность места нахождения (пространственная вариабельность) — может быть оценена на региональном (макро-) или локальном (микро-) уровне.

– вариабельность во времени (временная вариабельность) — нередко связана с сезонными изменениями погоды; примером

краткосрочной временной вариабельности может служить изменение активности человека в выходные и рабочие дни или в разные временные интервалы одного и того же дня.

– вариабельность среди индивидов (межиндивидуальная вариабельность) — подразделяется на два типа: человеческие характеристики, такие как возраст или масса тела; поведенческие особенности, такие как характер деятельности, место и продолжительность различных видов активности.

4. ТРЕТИЙ ЭТАП ОЦЕНКИ РИСКА. ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ «ДОЗА-ОТВЕТ»

4.1. Оценка зависимости «доза-ответ»

В процессе оценки зависимости «доза-ответ» устанавливается количественная связь между уровнем воздействия и возникающими в результате этого вредными эффектами на состояние здоровья.

Оценка зависимости «доза-ответ» предусматривает:

– сбор информации о токсических и канцерогенных свойствах исследуемого вещества;

– выбор основного критического исследования (наблюдения), наиболее полно характеризующего зависимость «доза-ответ» и наблюдаемые вредные эффекты при тех условиях воздействия, которые в наибольшей степени соответствуют выбранному сценарию и маршрутам воздействия;

– анализ дополнительных исследований, подтверждающих правильность выбора критического наблюдения;

– определение необходимых параметров зависимости «доза-ответ»;

– оценку неопределенности и экстраполяцию параметров зависимости «доза-ответ» на экспонируемое население;

– обобщение токсикологической информации и выбор критериев для последующей оценки риска;

– итоговую характеристику неопределенности на этапе оценки зависимости «доза-ответ».

Критерии оценки зависимости «доза-ответ» определяются типом действия вредных веществ. Допускается, что канцеро-

генные эффекты при воздействии химических канцерогенов, обладающих генотоксическим действием, могут возникнуть при любой дозе, вызывающей инициирование повреждений генетического материала. Негенотоксические канцерогены могут обладать порогом вредного действия, ниже которого канцерогенный риск не возникает. Для неканцерогенных веществ учитывается существование пороговых уровней, ниже которых вредные эффекты не возникают.

4.2. Оценка зависимости «доза-ответ» при воздействии примесей, обладающих беспороговым механизмом действия

Оценка зависимости «доза-ответ» для канцерогенов с беспороговым механизмом действия осуществляется путем линейной экстраполяции реально наблюдаемых в эксперименте или в эпидемиологических исследованиях зависимостей в область малых доз и нулевого канцерогенного риска. Пример зависимости «доза-ответ» для канцерогена с беспороговым механизмом действия представлен в Приложении 4, рис. 1.

Основным параметром для оценки канцерогенного риска агента с беспороговым механизмом воздействия является фактор канцерогенного потенциала или фактор наклона (SF), отражающий степень нарастания канцерогенного риска с увеличением воздействующей дозы на единицу. SF имеет размерность $\text{мг}/(\text{кг}\times\text{сут})^{-1}$. Этот показатель отражает верхнюю консервативную оценку канцерогенного риска за ожидаемую продолжительность жизни человека. Стандартные значения фактора канцерогенного потенциала при ингаляционном воздействии (SF_i) приведены в Приложении 1.

Другим параметром для оценки канцерогенного риска является величина единичного риска (UR), представляющего собой верхнюю консервативную оценку канцерогенного риска для человека, подвергающегося на протяжении всей жизни постоянному воздействию анализируемого канцерогена в концентрации $1 \text{ мг}/\text{м}^3$.

UR рассчитывается с использованием фактора канцерогенного потенциала, стандартных значений массы тела человека и су-

точного потребления воздуха (стандартные значения факторов экспозиции приведены в Приложении 5):

$$UR_i = SF_i \times IR \times 1 / BW, \quad (10)$$

где UR_i — единичный риск, $\text{м}^3/\text{мг}$;

SF_i — фактор канцерогенного потенциала, $\text{мг}/(\text{кг} \times \text{сут})^{-1}$;

BW — средняя масса тела, кг.

Оценка риска воздействия потенциальных химических канцерогенов, обладающих пороговым механизмом воздействия, осуществляется с использованием тех же методических параметров, которые применяются для неканцерогенных агентов, например, путем сопоставления анализируемого уровня воздействия на человека с величиной референтной дозы (концентрации) или ПДК, установленной по санитарно-токсикологическому критерию вредности. В основе установления референтной дозы (концентрации) для канцерогенов с пороговым механизмом действия лежит величина нижнего предела среднесуточной дозы, вызывающей увеличение частоты опухолей по сравнению с фоном на 10%, которая уменьшается на величину выбранного фактора неопределенности. Полученное таким образом значение референтного уровня воздействия используется в дальнейшем для расчета коэффициента опасности:

$$HQ = LADD / \text{RfD}, \quad (11)$$

где HQ — коэффициент опасности;

RfD — референтная доза, $\text{мг}/\text{кг}$.

$$\text{RfD} = \frac{(\text{RfC} \times IR \times ED \times EF)}{(BW \times AT \times 365)}, \quad (12)$$

где RfC — референтная концентрация вещества в атмосферном воздухе, $\text{мг}/\text{м}^3$;

ED — продолжительность воздействия, лет;

EF — частота воздействия, дней/год;

AT — период осреднения экспозиции (для канцерогенов — 70 лет);

365 — число дней в году.

4.3. Оценка зависимости «доза-ответ» при воздействии примесей, обладающих пороговым механизмом действия

Типичная зависимость «доза-ответ» для неканцерогенных веществ имеет вид S-образной (сигмоидальной) кривой (см. Приложение 4, рис. 2).

Оценка зависимости «доза-ответ» для неканцерогенных веществ проводится с учетом следующих величин: NOAEL и LOAEL (см. Приложение 4, рис. 3).

Безопасный для здоровья уровень воздействия химических веществ определяется как отношение NOAEL к произведению величины фактора неопределенности на модифицирующий фактор. В случае отсутствия NOAEL для расчета безопасного уровня используется LOAEL. Величина коэффициента неопределенности устанавливается с учетом возможного влияния на достоверность оценки безопасного уровня целого ряда факторов (см. Приложение 6).

4.4. Характеристика неопределенности оценки зависимости «доза-ответ»

Основными источниками неопределенности, которые могут иметь место при проведении оценки зависимости «доза/концентрация-ответ», являются:

- неопределенности, связанные с установлением референтного уровня воздействия;
- неопределенности, обусловленные переносом результатов эпидемиологических исследований на оцениваемую экспонируемую популяцию;
- неопределенности, связанные с установлением степени доказанности канцерогенного эффекта на человека;
- неопределенности при установлении фактора канцерогенного потенциала;
- неопределенности в определении критических органов/систем и вредных эффектов;
- неопределенности, связанные с незнанием механизмов взаимодействия компонентов смесей химических веществ или особенностей токсикокинетики и токсикодинамики.

5. ЧЕТВЕРТЫЙ ЭТАП ОЦЕНКИ РИСКА. ХАРАКТЕРИСТИКА РИСКА

5.1. Характеристика риска

На этапе характеристики риска интегрируются данные об опасности исследуемых атмосферных загрязнителей, величине экспозиции, параметрах зависимости «доза-ответ», полученные на предшествующих этапах исследований, с целью качественной и количественной оценки риска.

Характеристика риска осуществляется в соответствии со следующими этапами:

- обобщение результатов оценки экспозиции и зависимости «доза/концентрация-ответ»;
- расчет значений рисков для отдельных маршрутов и путей поступления химических веществ;
- расчет значений риска при условии агрегированной (поступление одного химического соединения в организм человека всеми возможными путями из разных объектов окружающей среды) и кумулятивной (одновременное воздействие нескольких химических веществ) экспозиции;
- выявление и анализ неопределенностей оценки риска;
- обобщение результатов оценки риска и представление полученных данных лицам, участвующим в управлении рисками.

Характеристика риска проводится отдельно в отношении канцерогенных и неканцерогенных эффектов.

5.2. Оценка потенциального риска для здоровья, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха примесями, обладающими канцерогенным механизмом воздействия

Оценка потенциального канцерогенного риска проводится поэтапно:

1. Обобщение и анализ всей имеющейся информации о вредных факторах, особенностях их действия на организм человека, уровнях экспозиции.
2. Расчет индивидуального канцерогенного риска (CR) для каждого отдельного вещества, поступающего в организм человека анализируемым путем.

3. Расчет популяционного канцерогенного риска (PCR).
4. Расчет канцерогенного риска при комбинированном воздействии на организм нескольких химических соединений.
5. Расчет суммарного канцерогенного риска (TCR) для анализируемого пути поступления.
6. Обсуждение и оценка источников неопределенности и вариабельности результатов характеристики риска.

CR — дополнительный, над фоновым, риск для человека заболеть раком в течение жизни в результате воздействия конкретного химического вещества при определенной концентрации. Расчет CR проводится на основании величины экспозиции и значения фактора канцерогенного потенциала:

$$CR = LADD \times SF_i \times A, \quad (13)$$

где $A = 1 = 70/70$ — величина, отражающая количество лет, в течение которых индивидуум подвергается воздействию (допускается, что период постоянного проживания на изучаемой территории — 70 лет, общее количество лет ожидаемой средней продолжительности жизни — 70 лет).

$$CR = C \times UR_i, \quad (14)$$

где C — средняя концентрация вещества в атмосферном воздухе за весь период наблюдения, $\text{мг}/\text{м}^3$.

При относительно высоких уровнях воздействия канцерогена (скрининговый уровень риска более 0,01) расчет риска производится по формуле:

$$CR = 1 - \exp(-SF_i \times LADD), \quad (15)$$

Наряду с факторами канцерогенного потенциала для оценки канцерогенного риска могут использоваться факторы эквивалентной токсичности (PEF), характеризующие канцерогенную способность данного вещества относительно определенного эталонного канцерогена, у которого PEF — 1,0. В частности, значения PEF разработаны для полиароматических углеводородов (эталон — бенз(а)пирен); полихлорированных диоксинов и бензофуранов (эталон — 1,4,7,8-тетрахлордибензо-*p*-диоксин). Существует два варианта применения PEF. В соответствии с пер-

вым вариантом по величине PEF для изучаемого вещества рассчитывается значение SF_i :

$$SF_i = SF_e \times PEF, \quad (16)$$

где SF_e — фактор канцерогенного потенциала у эталонного вещества.

В соответствии со вторым вариантом расчета концентрация (доза) исследуемого вещества умножается на величину PEF. Тем самым концентрация (доза) данного соединения пересчитывается на эквивалентное количество эталонного вещества.

Известные значения PEF для некоторых химических соединений приведены в Приложении 7.

PCR — риск, отражающий дополнительное (к фоновому) число случаев злокачественных новообразований, способных возникнуть на протяжении жизни вследствие воздействия исследуемого фактора:

$$PCR = CR \times POP, \quad (17)$$

где POP — экспонируемая популяция, человек.

Годовой популяционный канцерогенный риск (GPCR) — число дополнительных случаев рака, ожидаемых в течение каждого года, на определенное число популяции в результате воздействия конкретной дозы канцерогена.

$$GPCR = CR \times POP \times 1 / A, \quad (18)$$

где $A = 70$ — величина, отражающая количество лет, в течение которых индивидуум подвергается воздействию.

Канцерогенный риск при комбинированном воздействии нескольких химических соединений рассматривается как аддитивный. При анализе канцерогенного риска, связанного с воздействием химических веществ, относящихся к группам 1, 2A по классификации МАИР, исследуемые канцерогены целесообразно группировать с учетом вида и/или локализации опухолей. В этом случае расчет TCR осуществляется отдельно для каждой выделенной группы.

Предположение об аддитивности канцерогенных эффектов справедливо только для области малых вероятностей эффектов

и относительно низких уровней воздействия. При несоблюдении этого условия TCR рассчитывается по формуле:

$$\text{TCR} = 1 - (1 - \text{CR}_1) \times (1 - \text{CR}_2) \times \dots \times (1 - \text{CR}_i), \quad (19)$$

где $\text{CR}_1, \dots, \text{CR}_i$ — канцерогенные риски, связанные с изолированным воздействием i -го канцерогена.

При воздействии нескольких канцерогенов TCR для данного пути поступления (Приложение 8, табл. 1) рассчитывается по формуле:

$$\text{TCR}_a = \sum \text{CR}_i, \quad (20)$$

где TCR_a — суммарный канцерогенный риск для ингаляционного пути поступления a ;

CR_i — канцерогенный риск для i -го канцерогенного вещества.

Если источниками загрязнения атмосферного воздуха в исследуемом населенном пункте являются промышленные предприятия и/или автотранспорт, то их вклад в суммарный канцерогенный риск может быть оценен, согласно Приложению 8, табл. 2.

При расчете и характеристике риска необходимо принимать во внимание особенности оцениваемого контингента, свойственные ему факторы экспозиции и выбранную исследователем меру экспозиции. Необходимо пояснять, какой вид экспозиции оценивается: средняя экспозиция, максимальная обоснованная экспозиция, максимальная экспозиция.

При сравнительной характеристике канцерогенного риска проводят расчет условного годового риска (I_a) — расчетное число дополнительных случаев рака в течение года.

$$I_a = (\sum C_i \times \text{POP}) \times \text{UR}_i / 70, \quad (21)$$

где C_i — среднегодовая концентрация i -го вещества;

UR_i — единичный риск в течении жизни (70 лет), $\text{м}^3/\text{мг}$.

Величину годового риска не следует использовать для проведения прямых аналогий между уровнями фактической онкологической заболеваемости или смертности и значениями этих рисков.

5.3. Оценка потенциального риска для здоровья, связанного с химическим загрязнением атмосферного воздуха примесями, обладающими неканцерогенным механизмом воздействия

Для неканцерогенов процесс характеристики риска предполагает:

- расчет HQ;
- расчет индекса опасности (HI);
- расчет потенциального риска немедленного (рефлекторного) действия;
- расчет потенциального риска длительного (хронического) воздействия.

HQ отражает потенциальный риск развития неканцерогенных эффектов:

$$HQ = AD / RfD, \quad (22)$$

$$HQ = AC / RfC, \quad (23)$$

где AD — средняя доза, мг/кг;

AC — средняя концентрация, мг/м³;

При $HQ \leq 1,0$ риск вредных эффектов рассматривается как пренебрежимо малый. С увеличением HQ вероятность развития вредных эффектов возрастает.

HQ рассчитывается отдельно при условиях кратковременного (острого) и длительного (хронического) воздействий химических веществ. При этом период осреднения экспозиции и соответствующих безопасных уровней воздействия должен быть аналогичным.

Расчет HQ, как правило, проводится с учетом критических органов/систем, поражаемых исследуемыми веществами. Критические органы или системы, связанные с наиболее чувствительными и специфическими вредными биологическими изменениями, могут различаться в зависимости от пути поступления и продолжительности воздействия химического вещества. Чаще всего в качестве критических рассматриваются органы/системы, поражаемые на уровне пороговых доз (концентраций) анализируемого химического соединения. С увеличением уровня и про-

должительности воздействия обычно происходит генерализация вредных эффектов с вовлечением новых органов/систем.

Сведения о критических органах/системах при условии острого и хронического ингаляционного воздействия представлены в Приложении 3, табл.1 и 2.

Оценка риска при комбинированном воздействии химических соединений проводится на основе расчета НИ, который при условии одновременного поступления нескольких веществ одним и тем же путем рассчитывается по формуле:

$$НИ = \sum HQ_i, \quad (24)$$

где HQ_i — коэффициенты опасности для отдельных компонентов смеси воздействующих веществ.

При установлении величины потенциального риска немедленного действия в качестве эффекта оценивается вероятность появления рефлекторных реакций (ощущение раздражения, неприятного запаха и пр.) или эффектов психологического дискомфорта.

Для прогнозирования риска возникновения рефлекторных эффектов при загрязнении атмосферного воздуха используют следующие уравнения:

$$\text{1-й класс Prob} = -9,15 + 11,66 \times \lg(C_i / \text{ПДК}_{\text{м.р.}}), \quad (25)$$

$$\text{2-й класс Prob} = -5,51 + 7,49 \times \lg(C_i / \text{ПДК}_{\text{м.р.}}), \quad (26)$$

$$\text{3-й класс Prob} = -2,35 + 3,73 \times \lg(C_i / \text{ПДК}_{\text{м.р.}}), \quad (27)$$

$$\text{4-й класс Prob} = -1,41 + 2,33 \times \lg(C_i / \text{ПДК}_{\text{м.р.}}), \quad (28)$$

где C_i — концентрация воздействующего вещества;

$\text{ПДК}_{\text{м.р.}}$ — максимальная разовая предельно допустимая концентрация;

Prob — величина, связанная с риском по закону нормального вероятностного распределения.

Пробиты (Prob) и вероятность (Risk) связаны табличным интегралом:

$$\text{Risk} = (1 / \sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^{\text{Prob}} e^{-t^2/2} dt \quad (29)$$

Для практического перевода Prob в Risk можно использовать специальные таблицы (см. Приложение 9) или встроенные функции специализированных пакетов программ. Так, например, общеизвестный табличный процессор Excel, являющийся составной частью продуктов серии Microsoft Office, для этой цели предлагает встроенную функцию нормального вероятностного распределения.

Данный подход применим при уровне загрязнения объекта среды обитания до 10–15 ПДК.

В основу модели расчета потенциального риска длительного (хронического) воздействия положена беспороговая модель воздействия, где норматив (ПДК) рассматривается как определенный компромисс, связанный с приемлемым риском, когда для большинства людей отсутствует видимая или скрытая опасность для здоровья.

Расчет эффектов, связанных с длительным (хроническим) воздействием веществ, загрязняющих воздух, проводится с использованием информации об их осредненных (как минимум за год) концентрациях.

Для оценки риска неспецифических хронических эффектов при загрязнении атмосферного воздуха уравнения расчета риска имеют вид:

$$\text{Risk} = 1 - \exp(\ln 0,84 \times (C / \text{ПДК}_{\text{с.с.}})^b / k_3), \quad (30)$$

где Risk — вероятность развития неспецифических токсических эффектов при хронической интоксикации в заданных условиях;

C — концентрация вещества, оказывающего воздействие за заданный период времени;

ПДК_{с.с.} — среднесуточная предельно допустимая концентрация;

k₃ — коэффициент запаса (значения меняются в зависимости от класса опасности вещества: 1-й класс — 7,5; 2-й класс — 6,0; 3-й класс — 4,5; 4-й класс — 3);

b — коэффициент, значения которого меняются в зависимости от класса опасности вещества: 1-й класс — 2,35; 2-й класс — 1,28; 3-й класс — 1,0 и 4-й класс — 0,87.

$$\text{Risk} = 1 - \exp(\ln 0,84 / (\text{ПДК}_{\text{с.с.}} \times k_3)) \times C \times t)^n, \quad (31)$$

где C — концентрация примеси;

n — коэффициент, значения которого меняются в зависимости от класса опасности вещества: 1-й класс — 2,4; 2-й класс — 1,31; 3-й класс — 1,0; 4-й класс — 0,86;

t — отношение длительности воздействия загрязнения (годы) к средней продолжительности жизни человека (70 лет).

Данный подход применим при уровне загрязнения объекта среды обитания до 10–15 ПДК.

Одним из методов оценки комбинированного риска является способ, где комбинированный риск определяется как сумма рассчитанных величин риска по каждому из принятых в расчет веществ.

Еще одним подходом, который может применяться для оценки комбинированного действия, является метод, основанный на произведении вероятностей:

$$\text{Risk}_{\text{сум}} = 1 - (1 - \text{Risk}_1) \times (1 - \text{Risk}_2) \times (1 - \text{Risk}_3) \times \dots \times (1 - \text{Risk}_n), \quad (32)$$

где $\text{Risk}_{\text{сум}}$ — риск комбинированного действия примесей;

$\text{Risk}_1, \dots, \text{Risk}_n$ — риск действия каждой отдельной примеси.

При использовании данных подходов следует обратить внимание на следующее:

1. Эффекты немедленного действия чаще всего проявляются в виде рефлекторных реакций у наиболее чувствительных лиц. Иными словами, люди, наиболее подверженные воздействию одних примесей, также оказываются более чувствительными и к другим. В связи с этим потенциальный риск немедленного действия при комбинированном воздействии чаще всего определяется максимальным риском отдельной примеси среди всех воздействующих ингредиентов, хотя в отдельных случаях необходим учет эффекта суммации.

2. Хроническое воздействие химических веществ общетоксического характера действия на уровне малых концентраций (1–15 ПДК) характеризуется однотипными неспецифическими эффектами, что заставляет думать о необходимости обязательного использования в этом случае уравнения расчета суммар-

ного риска для всех примесей, являющихся потенциальными токсикантами хронического действия.

5.4. Оценка величины потенциального риска по нормативным показателям

I. Оценка величины потенциального риска немедленного (рефлекторного) действия.

Величину потенциального риска немедленного (рефлекторного) действия следует оценивать по следующим критериям:

1. Приемлемый — до 2% (до 0,02 в долях единицы) — практически исключается рост заболеваемости населения, связанный с воздействием оцениваемого фактора, а состояние дискомфорта может проявляться лишь в единичных случаях у особо чувствительных людей.

2. Удовлетворительный — от 2 до 16% (0,02–0,16 в долях единицы) — возможны частые случаи жалоб населения на различные дискомфортные состояния, связанные с воздействием оцениваемого фактора (неприятные запахи, рефлекторные реакции и пр.); тенденция к росту общей заболеваемости, обычно отслеживаемая по данным медицинской статистики или при проведении специальных исследований, как правило, не носит достоверного характера.

3. Неудовлетворительный — от 16 до 50% (0,16–0,50 в долях единицы) — возможны систематические жалобы населения на различные дискомфортные состояния, связанные с воздействием оцениваемого фактора (неприятные запахи, рефлекторные реакции и пр.), при наличии тенденции к росту общей заболеваемости, которая, как правило, носит достоверный характер.

4. Опасный — более 50% (более 0,50 в долях единицы) — возможны массовые случаи жалоб населения на различные дискомфортные состояния, связанные с воздействием оцениваемого фактора, при достоверной тенденции к росту общей заболеваемости, а также появление других эффектов неблагоприятного воздействия (появление патологии, специфически связанной с типом воздействующего фактора и пр.)

5. Чрезвычайно опасный — близкий к 100% (или 1) — загряз-

нение окружающей среды перешло в иное качественное состояние (появление случаев острого отравления, изменение структуры заболеваемости, тенденция к росту смертности и пр.), которое должно оцениваться с использованием иных, более специфических моделей.

II. Оценка величины потенциального риска длительного (хронического) воздействия.

Величина потенциального риска длительного (хронического) воздействия оценивается по следующим критериям:

1. Приемлемый — до 5% (до 0,05 в долях единицы) — как правило, отсутствуют неблагоприятные медико-экологические тенденции.

2. Вызывающий опасение — от 5 до 16% (0,05–0,16 в долях единицы) — возникает тенденция к росту неспецифической патологии.

3. Опасный — от 16 до 50% (0,16–0,50 в долях единицы) — возникает достоверная тенденция к росту неспецифической патологии при появлении единичных случаев специфической патологии.

4. Чрезвычайно опасный — от 50 до 84% (0,50–0,84 в долях единицы) — возникает достоверный рост неспецифической патологии при появлении значительного числа случаев специфической патологии, а также тенденция к увеличению смертности населения.

5. Катастрофический — близкий к 100% (или 1) — загрязнение окружающей среды перешло в иное качественное состояние (появление случаев хронического отравления, изменение структуры заболеваемости, достоверная тенденция к росту смертности и пр.), которое должно оцениваться с использованием иных, более специфических моделей.

III. Оценка величины индивидуального канцерогенного риска.

Величину индивидуального канцерогенного риска следует оценивать по следующим критериям:

1. Неприемлемый (высокий) уровень риска для населения — более E-04.

2. Допустимый (низкий) уровень риска — E-04–E-06.

3. Приемлемый (минимальный) уровень риска — E-06 и менее.

IV. Оценка величины коэффициента опасности.

Величина коэффициента опасности оценивается по следующим критериям:

1. Чрезвычайно высокий — более 10.

2. Высокий — 5–10.

3. Средний — 1–5.

4. Низкий — 0,1–1,0.

5. Минимальный — менее 0,1.

5.5. Оценка неопределенности характеристики риска

На этапе характеристики риска осуществляется характеристика всех предположений, научных гипотез и неопределенностей, которые способны исказить результаты анализа риска и конечные выводы.

Выделяют четыре основных источника неопределенности:

– неопределенность, вызванная проблемами статистической выборки;

– неопределенность в моделях воздействия или моделях зависимости «доза-эффект», особенно на уровне доз малой интенсивности;

– неопределенность, связанная с формированием исходной выборки баз данных;

– неопределенность, вызванная неполнотой совпадения с реальностью использованных моделей.

В идеальном случае каждая неопределенность должна сопровождаться распределениями индивидуальной и обобщенной вероятности, из которых выводятся средние или наилучшие индивидуальные оценки негативного эффекта.

Приложение 1

Фактор канцерогенного потенциала
(ингаляционное воздействие)

Вещество	CAS	SF _i	Ис-точ-ник	ЕРА	МАИР
1	2	3	4	5	6
Азасерин	115-02-6	11	С		2В
Азатиоприн	446-86-6	1,8	С		1
Азобензол	103-33-3	0,11	І	В2	3
Акриламид	79-06-1	4,5	І	В2	2А
Акрилонитрил	107-13-1	0,24	І	В1	2А
Актиномицин D	50-76-0	8700	С		3
Алар	1596-84-5	0,018	С	В2	
Алдрин	309-00-2	17	І	В2	3
Аллил хлористый	107-05-1	0,021	С	С	3
Амино-2-метил-антрахинон, 1-	82-28-0	0,15	С		3
Амино-3-метил-9Н-пиридо[2,3-б]индол, 2-	68006-83-7	1,2	С		2В
Амино-6-метилдипирило (1,2-а:3',2'-d)имидазол, 2-	67730-11-4	4,8	С		2В
2-Амино-9Н-пиридо [2,3-б]индол	26148-68-5	0,4	С		2В
Амино-9-этилкарбазол, 3-, гидрохлорид	6109-97-3	0,078	С		
Аминоазотолуол, о-	97-56-3	3,8	С		2В
Аминоантрахинон, 2-	117-79-3	0,033	С		3
Аминодипиридо (1,2-а:3',2'-d)имидазол, 2-	67730-10-3	1,4	С		2В
Аминодифенил, 4-	92-67-1	21	С		1
Амитрол	61-82-5	0,91	С		2В
Анилин	62-53-3	0,0057	С	В2	3
Арамит	140-57-8	0,025	І	В2	2В
Аурамин	492-80-8	0,88	С		2В
Ацетальдегид	75-07-0	0,0077	І	В2	2В
Ацетамид	60-35-5	0,07	С		2В
Ацетиламинофлуорен	53-96-3	3,8	С		2В
Ацетофенетидин, п-	62-44-2	0,0022	С		2А
Бенз[а]антрацен	56-55-3	0,31	Н	В2	2А

Продолжение Приложения 1

1	2	3	4	5	6
Бензидин	92–87–5	234	I	A	1
Бензил хлористый	100–44–7	0,17	C	B2	3
Бензо(а)пирен	50–32–8	3,1	N	B2	2A
Бензо(б)флуорантен	205–99–2	0,39	C	B2	2B
Бензо(ј)флуорантен	205–82–3	0,39	C		2B
Бензо(к)флуорантен	207–08–9	0,031	N	B2	2B
Бензол	71–43–2	0,027	I	A	1
Бериллий	7440–41–7	8,4	I	B1	1
Бериллия оксид	1304–56–9	7	C		1
Бериллия сульфат (1:1)	13510–19–1	3000	C		1
Бис(2-хлоризопропиловый) эфир	39638–32–9	0,035	H	C	
Бис(2-хлорэтиловый) эфир	111–44–4	1,15	I	B2	3
Бис(п-хлорфенил)-1,1-дихлорэтилен, 2,2-	72–55–9	0,34	C	B2	2B
Бифенилол, 2-, натриевая соль	132–27–4	0,003	C		2B
Бромдихлорметан	75–27–4	0,13	C	B2	2B
Бромформ	75–25–2	0,0039	I	B2	3
Бромэтен	593–60–2	0,11	H	B2	2A
Бутадиен, 1,3-	106–99–0	1,8	I	A1	A
Бутиролактон, бета-	3068–88–0	1	C		2B
Винилхлорид	75–01–4	0,3	H	A	1
Гексахлоран	608–73–1	1,78	I	B2	2B
Гексахлорбензол	118–74–1	1,6	I	B2	2B
Гексахлорбутадиен	87–68–3	0,077	I	C	3
Гексахлордибензо-п-диоксин	34465–46–8	3300	C		
Гексахлордибензо-п-диоксин, 1,2,3,4,7,8-	39227–28–6	16 000	H	B2	
Гексахлордибензо-п-диоксин, 1,2,3,7,8,9-	19408–74–3	4550	I	B2	3
Гексахлордибензо-п-диоксин, 1,2,3,6,7,8-	57653–85–7	16 000	H	B2	3
Гексахлордибензофуран, 1,2,3,4,7,8-	70648–26–9	16 000	H	B2	
Гексахлордибензофуран, 1,2,3,6,7,8-	57117–44–9	16 000	H	B2	

Продолжение Приложения 1

1	2	3	4	5	6
Гексахлордибензофуран, 1,2,3,7,8,9-	72918–21–9	16 000	Н	В2	
Гексахлордибензофуран, 2,3,4,6,7,8-	60851–34–5	16 000	Н	В2	
Гексахлорэтан	67–72–1	0,014	І	С	3
Гептахлор	76–44–8	4,5	І	В2	2В
Гептахлордибензо-п-диоксин, 1,2,3,4,6,7,8-	35822–46–9	1600	Н	В2	3
Гептахлордибензофуран, 1,2,3,4,6,7,8-	67562–39–4	1600	Н	В2	
Гептахлорэпоксид	1024–57–3	9,1	І	В2	2В
Гидразин	302–01–2	17,1	І	В2	2В
Гидразина сульфат	10034–93–2	17	І	В2	
Гиромитрин	16568–02–8	10	С		3
Дакарбазин	4342–03–4	49	С		2В
ДДТ	50–29–3	0,34	І	В2	2В
Ди(2-этилгексил)фталат	117–81–7	0,0084	С	В2	2В
Диаминоанизол, 2,4-, сульфат	39156–41–7	0,013	С		
Диаминоанизол, 2,4-	615–05–4	0,023	С		2В
Диаминодифенилметан, 4,4'-	101–77–9	1,6	С		2В
Дибен[а,і]акридин	224–42–0	0,39	С		2В
Дибенз[а,н]антрацен	53–70–3	3,1	Н	В2	А2
Дибенз[а,н]акридин	226–36–8	0,39	С		2В
Дибенз[f,і]антрацен	194–59–2	3,9	С		
Дибензо[а,н]пирен	189–64–0	39	С		2В
Дибензо[а,і]пирен	189–55–9	39	С		2В
Дибензо[а,і]пирен	191–30–0	39	С		2В
Дибромхлорметан	124–48–1	0,094	С	С	3
Дибромэтан, 1,2-	106–93–4	0,77	І	В2	А2
Дигидрокси-антрахинон, 1,8-	117–10–2	0,076	С		2В
Дигидросафрол	94–58–6	0,044	С		2В
Диглицидилрезорциновый эфир	101–90–6	1,7	С		2В
Диметилбенз[а]антрацен, 7,12-	57–97–6	250	С		
Диметилгидразин, 1,1-	57–14–7	550	С		2В

Продолжение Приложения 1

1	2	3	4	5	6
Диметилкарбамоилхлорид	79-44-7	13	С		2А
Динитропирен, 1,6-	42397-64-8	39	С		2В
Динитропирен, 1,8-	42397-65-9	39	С		2В
Динитротолуол, 2,4-	121-14-2	0,31	С	В2	2В
Диоксан, 1,4-	123-91-1	0,027	С	В2	2В
Дифенилгидразин, 1,2-	122-66-7	0,77	І	В2	
Дихлорбензол, 1,4-	106-46-7	0,04	С	В2/С	2В
Дихлорбут-2-ен, 1,4-	764-41-0	9,3	Н		3
Дихлордиметилловый эфир, 1,1'-	542-88-1	217	І	А	1
Дихлоризопропиловый эфир, 2,2'-	108-60-1	0,035	Н	С	3
Дихлорметан	75-09-2	0,0016	І	В2	2В
Дихлорофос	62-73-7	0,29	С	В2	2В
Дихлорпропан, 1,2-	78-87-5	0,063	С	В2	3
Дихлорпропен, транс-1,3-	10061-02-6	0,13	Н		
Дихлорпропен, цис-1,3-	10061-01-5	0,13	Н		
Дихлорпропен, 1,3-	542-75-6	0,13	Н	В2	2В
Дихлорэтан, 1,1-	75-34-3	0,0057	С		
Дихлорэтан, 1,2-	107-06-2	0,091	І	2В	2В
Дихлорэтилен, 1,1-	75-35-4	0,18	І	С	3
Диэдрин	60-57-1	16	І	В2	3
Диэтилстильбэстрол	56-53-1	490	Н	А	1
3Н-имидазо(4,5- <i>f</i>)хинолин, 2-амино-3метил-	76180-96-6	1,4	С		2А
Индено[1,2,3- <i>c,d</i>]пирен	193-39-5	0,31	Н	В2	2В
Кадмий	7440-43-9	6,3	І	В1	1
Калия бромат	7758-01-2	0,49	С		2В
Каменноугольные смолы	8007-45-2	2,17	І	А	1
Каптан	133-06-2	0,0023	С	В2	3
Каптофол	2425-06-1	0,15	С	С/В2	2А
Кепон	143-50-0	16	С		2В
Купферрон	135-20-6	0,22	С		
Лизиокарпин	303-34-4	7,8	С		2В
Линдан	58-89-9	1,1	С	В2	3
Линдан, альфа-	319-84-6	6,3	І	В2	2В
Линдан, бета-	319-85-7	1,85	І	С	2В
Мелфалан	148-82-3	130	С		1

Продолжение Приложения 1

1	2	3	4	5	6
Метил-1-нитро-антрахинон, 2-	129–15–7	4,3	С		2В
Метил-1-хлорпроп-1-ен, 2-	513–37–1	0,045	С		2В
Метил-2-метоксианилин, 5-	120–71–8	0,15	С		2В
Метил-3-хлорпроп-1-ен, 2-	563–47–3	0,14	С		3
Метил-N'-нитрозо-N-нитрогуанидин, N-	70–25–7	8,3	С		2А
Метиланилин, 2-	95–53–4	0,18	С	В2	2В
Метиланилин, 2-, гидрохлорид	636–21–5	0,13	С	В2	
Метиленбис(2-хлоранилин), 4,4'-	101–14–4	0,13	Н	В2	2А
Метилendiанилин, 4,4'-, дихлорид	13552–44–8	1,2	С		2В
Метилметансульфонат	66–27–3	0,099	С		2В
Метилтиоурацил	56–04–2	0,4	С		2В
Метил-трет-бутиловый эфир	1634–04–4	0,00015	Н	С	
Метилхолантрен, 3-	56–49–5	22	С		
Метилхризен, 5-	3697–24–3	3,9	С		2В
Метокси-5-нитроанилин, 2-	99–59–2	0,049	С		3
Метоксианилин, 2-	90–04–0	0,14	С		2В
Метоксибензамин, 2-, гидрохлорид	134–29–2	0,11	С		
Мирекс	2385–85–5	18	С	В2	
Митомицин С	50–07–7	8200	С		2В
Монокроталин	315–22–0	10	С		2В
Мышьак	7440–38–2	15	І	А	1
Нафтиламин, 2-def	91–59–8	1,8	С		1
Нафто(1,2,3,4-)хризен	192–65–4	3,9	С		2В
Никель	7440–02–0	0,91	С		2В
Никель очищенный, пыль		0,84	І	А	1
Никеля субсульфид	12035–72–2	1,68	І	А	
Нитрилотриуксусная кислота	139–13–9	0,0053	С		2В
Нитрилотриуксусная кислота, тринатриевая соль, моногидрат	18662–53–8	0,01	С		2В

Продолжение Приложения 1

1	2	3	4	5	6
Нитроаценафтен, 5-	602–87–9	0,13	С		2В
Нитроглицерин	55–63–0	0,014	І		
Нитрозо-N-метил-мочевина, N-	684–93–5	120	С		2А
Нитрозо-N-метил-уретан, N-	615–53–2	110	С		В2
Нитрозо-N-этил-мочевина, N-	759–73–9	27	С	В2	А2
Нитрозодибутиламин, N-	924–16–3	5,6	І	В2	2В
Нитрозодиметиламин, N-	62–75–9	49	І	В2	2А
Нитрозодипропиламин, N-	621–64–7	7	С	В2	2В
Нитрозодифениламин, N-	96–30–6	0,009	С	В2	3
Нитрозодиэтиламин, N-	55–18–5	150	І	В2	А2
(Нитрозоимино) диэтанол, 2,2'-	1116–54–7	2,8	С	В2	2В
Нитрозометилэтиламин, N-	10595–95–6	22	С	В2	2В
Нитрозоморфолин, N-	59–89–2	6,7	С		2В
Нитрозонорникотин, N'-	16543–55–8	1,4	С		2В
Нитрозопиперидин, N-	100–75–4	9,4	С		2В
Нитрозопирролидин, N-	930–55–2	2,1	І	В2	2В
(4-нитрозофенил) анилин, N-	156–10–5	0,022	С		3
Нитропирен, 1-	5522–43–0	0,39	С		2В
Нитропирен, 4-	57835–92–4	0,39	С		2В
Нитропропан, 2-	79–46–9	9,4	Н	В2	2В
Нитрофен	1836–75–5	0,082	С		2В
Нитрохризен, 6-	7496–02–8	39	С		2В
Нифураден	555–84–0	1,8	С		2В
Нифуртиазол	3570–75–0	2,3	С		2В
Оксидианилин, 4,4'-	101–80–4	0,14	С		2В
Октахлордibenзо-п-диоксин	3268–87–9	130	С		3
Октахлордibenзофуран, 1,2,3,4,5,6,7,8-	39001–02–0	130	С		
Основной красный, 9	569–61–9	0,25	С		2В
Пентахлордibenзо-п-диоксин, 1,2,3,7,8-	40321–76–4	80 000	Н	В2	3
Пентахлордibenзофуран, 1,2,3,7,8-	109719–77–9	8000	Н	В2	

Продолжение Приложения 1

1	2	3	4	5	6
Пентахлордibenзофуран, 2,3,4,7,8-	57117-41-6	80 000	H	B2	
Пентахлорфенол	87-86-5	0,018	C	B2	2B
Пигмент красный	5160-02-1	0,0053	C		
Пищевой фиолетовый, 2	1694-09-3	0,02	C		2B
Полихлорированные бифенилы	1336-36-3	0,4	I	B2	2A
Понсо 3R	3564-09-8	0,016	C		2B
Понсо MX	3761-53-3	0,0045	C		2B
Прокарбазин	671-16-9	14	C		2A
Прокарбазина гидрохлорид	366-70-1	12	C		2A
Пропансультон, 1,3-	1120-71-4	2,4	C		2B
Пропиленоксид	75-56-9	0,013	I	B2	2B
Пропилтиоурацил	51-52-5	1	C		2B
Пропиолактон, бета-	57-57-8	14	C		2B
Прямой коричневый, 95	16071-86-6	6,7	C	A	2B
Прямой синий, 6	2602-46-2	7,4	C	A	2B
Прямой черный, 38	1937-37-7	7,4	C	A	2B
Резерпин	50-55-5	11	C		3
Сафрол	94-59-7	0,22	C		2B
Свинец	7439-92-1	0,042	C	B2	2B
Свинца ацетат	301-04-2	0,28	C		3
Свинца ацетат, основной	1335-32-6	0,038	C		3
Синий, N1	2784-94-3	0,051	C		2B
Стеригматоцистин	10048-13-2	35	C		2B
Стиролоксид	96-09-3	0,16	C		2A
Стрептозоцин	18883-66-4	110	C		2B
Сульфаллат	95-06-7	0,19	C		2B
Тетрааминоантрахинон, 1,4,5,8-	2475-45-8	0,0045	C		2B
Тетрагидрофуран	109-99-9	0,0068	N		
Тетраметил-4,4'-диамино-бензофенон, N,N,N,N-	90-94-8	0,86	C		
Тетраметилдиаминодифенилметан, 4,4'-	101-61-1	0,046	C	B2	3
Тетрахлордibenзо-п-диоксин, 2,3,7,8-	1746-01-6	150 000	H	B2	1
Тетрахлорбензофуран, 2,3,7,8-	51207-31-9	16 000	H	B2	

Продолжение Приложения 1

1	2	3	4	5	6
Тетрахлордифенилэтан,4,4-	72–54–8	0,24	С	В2	2В
Тетрахлорметан	56–23–5	0,053	І	В2	2В
Тетрахлорэтан, 1,1,1,2-	630–20–6	0,026	І	С	3
Тетрахлорэтан, 1,1,2,2-	79–34–5	0,2	І	С	3
Тетрахлорэтилен	127–18–4	0,002	Н	В2	2А
Тиоацетамид	62–55–5	6,1	С		2В
Тиодиаанилин, 4,4'-	139–65–1	15	С		2В
Тиомочевина	62–56–6	0,072	С		2В
Тиофосфамид	52–24–4	12	С		1
Токсафен	8001–35–2	1,1	І	В2	2В
Толуилендиизоцианат, 2,4-	584–84–9	0,039	С		2В
Толуол-2,6-диизоцианат	91–08–7	0,039	С		2В
Толуолдиизоцианат, 1,3-	26471–62–5	0,039	С		2В
Транс-2-[(диметиламино)метилимино]-5-[2-(5-нитро-2-фурил)винил]-1,3,4-оксадиазол	55738–54–0	0,44	С		2В
Трет-бутил-4-метокси-фенол, 2-	25013–16–5	0,0002	С		2В
Триафур	712–68–5	16	С		2В
Триптофан Р1	62450–06–0	26	С		2В
Триптофан Р2	62450–07–1	3,2	С		2В
Трис(2,3-дибром-пропил)фосфат	126–72–7	2,3	С		2А
Трихлорфенол, 2,4,6-	88–06–2	0,011	І	В2	2В
Трихлорэтан, 1,1,2-	79–00–5	0,057	І	С	3
Трихлорэтилен	79–01–6	0,0063	Н	В2/С	2А
Уретан	51–79–6	1	С		2В
Феназопиридин	94–78–0	0,17	С		3
Феназопиридина гидрохлорид	136–40–3	0,15	С		2В
Фенестерин	3546–10–6	150	С		
Фенилен-2,4-диамин	95–80–7	4	С	В2	2В
Фенобарбитал	50–06–6	0,46	С		2В
Феноксibenзамин	59–96–1	3,1	С		2В
Феноксibenзамина гидрохлорид	63–92–3	2,7	С		2В
Формальдегид	50–00–0	0,046	І	В1	2А
Фурациллин	59–87–0	9,4	Н	В2	3

Окончание Приложения 1

1	2	3	4	5	6
Фуриламид	3688–53–7	0,21	С		2В
Фуриум	531–82–8	1,5	С	В2	2В
Фурмециклокс	60568–05–0	0,03	С	В2	
Хлор-1,2-дибромпропан, 3-	96–12–8	0,0024	Н	В2	2В
Хлор-5-метиланилин, 2-	7440–41–7	8,4	С		
Хлорбензилат	510–15–6	0,27	Н	В2	3
Хлорбутин	305–03–3	440	С		1
Хлордан	57–74–9	1,3	Н		2В
Хлордан технический	12789–03–6	0,35	І	В2	2В
Хлорированные парафины С12 (60% хлора)	108171–26–2	0,089	С		2В
Хлорметан	74–87–3	0,0063	Н	С	3
Хлорметоксиметан	107–30–2	2,4	С	А	1
Хлороталонил	1897–45–6	0,0031	С	В2	3
Хлор-о-фенилендиамин, 4-	95–83–0	0,016	С		2В
Хлороформ	67–66–3	0,081	І	В2	2В
Хлорпропан, 2-	75–29–6	0,13	Н		
Хлортрианизен	569–57–3	240	С		
Хлорэндиловая кислота	115–28–6	0,091	С		2В
Хлорэтан	75–00–3	0,0029	І	В	3
Хризен	218–01–9	0,0031	Н	В2	3
Хром (VI)	18540–29–9	42	І	А	1
Хромовая кислота	7783–94–5	42	І		1
Циклофосамида гидрат	6055–19–2	0,57	С		1
Циклофосфан	50–18–0	0,61	С		1
Циннамилантранилат	87–29–6	0,0046	С		3
Эпихлоргидрин	106–89–8	0,0042	І	В2	А2
Эстрадиол	50–28–2	39	С		
Этиленимин	151–56–4	65	С	В2	3
Этиленоксид	75–21–8	0,35	Н	В1	1
Этилентиомочевина	96–45–7	0,045	С	В2	2В

Примечания: CAS — индивидуальный номер химического вещества, присваиваемый Американской службой рефератов химических веществ; EPA — классификация US EPA; I (IRIS) — интегрированная информационная система о рисках для здоровья (US EPA); H (HEAST) — таблицы референтных величин, используемых при оценке риска (US EPA); N (NCEA) — Национальный центр по оценке окружающей среды US EPA; C (CalEPA) — Калифорнийское агентство по охране окружающей среды.

Приложение 2

Весовые коэффициенты для оценки канцерогенных и неканцерогенных эффектов

Таблица 1

Весовые коэффициенты для оценки канцерогенных эффектов

Фактор канцерогенного потенциала, мг/(кг×сут) ⁻¹	Группы канцерогенности по классификации US EPA	
	A/B	C
	весовые коэффициенты канцерогенной активности	
менее 0,005	10	1
0,005–0,05	100	10
0,05–0,5	1000	100
0,5–5	10 000	1000
5–50	100 000	10 000
более 50	1 000 000	100 000

Таблица 2

Весовые коэффициенты для оценки неканцерогенных эффектов

Безопасная доза, мг/кг	Безопасная концентрация, мг/м ³	Весовой коэффициент
менее 0,00005	менее 0,000175	100 000
0,00005–0,0005	0,000175–0,00175	10 000
0,0005–0,005	0,00175–0,0175	1000
0,005–0,05	0,0175–0,175	100
0,05–0,5	0,175–1,75	10
более 0,5	более 1,75	1

Референтные концентрации

Таблица 1

Референтные концентрации
для кратковременных ингаляционных воздействий, мг/м³

Вещество	CAS	AEGL1	AREL	ERPG1	MRL	Критические органы/системы*	Запах
1	2	3	4	5	6	7	8
Азота диоксид	10102-44-0		0,47			органы дыхания	0,25
Азотная кислота	7697-37-2	1,3	0,09			органы дыхания	
Акриловая кислота	79-10-7		6			органы дыхания	0,2
Акрилонитрил	107-13-1			21,7	0,2	ЦНС	2,5
Акролеин	107-02-8		0,0004	0,22	0,0001	глаза	0,07
Аммиак	7664-41-7		3		0,35	органы дыхания	0,5
Анилин	62-53-3	30		5,98		кровь	0,34
Арсин	7784-42-1		0,2			кровь	14
Ацетофенон	98-86-2			30		органы дыхания	0,01
Барий	7440-39-3			1,62			
Бензил хлористый	100-44-7		0,5	5,18		органы дыхания, глаза	
Бенз(а)пирен	50-32-8			1			
Бензол	71-43-2		0,8	160	0,15	иммун.	2,9
Бериллий	7440-41-7			0,00995			
Бис(2-хлорэтиловый) эфир	111-44-4			58,5			

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Бромметан	74–83–9		4	58,3	0,2	ЦНС, органы дыхания	
Бромоформ	75–25–2			15,5			26,6
Бутанон, 2-	78–93–3		30	885		органы дыхания, глаза	0,31
Бутокси- этанол, 2-	111–76–2		10		28,8	кровь, развитие	3
Винилацетат	108–05–4			17,6		органы дыхания, ЦНС	1
Винилхлорид	75–01–4		200	12,8	1,3	разви- тие, ЦНС, органы дыхания	0,66
Водорода сульфид	7783 06 4		0,1		0,7	органы дыхания	0,014
Водорода фторид	7664–39–3		0,2			органы дыхания, глаза	0,03
Водорода цианид	74–90–8		0,3			ЦНС	1
Гексахлор- бензол	118–74–1			0,0745			
Гексахлор- бутадиен	87–68–3			32			
Гексахлорцик- лопентадиен	77–47–4			0,223			
Гексахлорэ- тан	67–72–1			29	58	ЦНС	0,5
Дибензо(a,h) антрацен	53–70–3			30,1			
Дибромэтан, 1,2-	106–93–4			231			
Дибутил- фталат	84–74–2			15			0,26
Диванадия пентоксид	1314–62–1		0,03			органы дыхания	
Динитро- бензол, 1,3-	99–65–0						

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Динитро-толуол, 2,4-	121-14-2			0,447			
Динитро-толуол, 2,6-	606-20-2			0,447			
Динитро-фенол, 2,4-	51-28-5			0,979			
Диоксан, 1,4-	123-91-1		6	270		органы дыхания, глаза	0,7
Дифенил-гидразин, 1,2-	122-66-7			30			
Дихлорбензол, 1,2-	95-50-1			301			
Дихлорбензол, 1,4-	106-46-7			661	4,8	развитие	
Дихлордифторметан	75-71-8			14800			1681
Дихлорметан	75-09-2		80	695	10	ЦНС	743
Дихлорпропан, 1,2-	78-87-5			508	0,23	органы дыхания	
Дихлорпропен, 1,3-	542-75-6			13,6			0,43
Дихлорфенол, 2,4-	120-83-2			30			
Дихлорэтан, 1,1-	75-34-3			1210			17,5
Дихлорэтан, 1,2-	107-06-2			8,09	0,8	иммун.	12
Дихлорэтилен, 1,1-	75-35-4			79,3			
Дихлорэтилен, 1,2-	540-59-0	53		2380			
Диэтилфталат	84-66-2			15			0,15
Изопропанол	67-63-0		3			органы дыхания, глаза	1,2
Кадмий	7440-43-9			0,03			

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Ксилол	1330–20–7		2		4,3	ЦНС, органы дыхания, глаза	
Медь	7440–50–8		0,1			органы дыхания, глаза	
Метанол	67–56–1		30			ЦНС	3,9
Метил-2- пентанон, 4-	108–10–1			307			0,25
Метил- анилин, 2-	95–53–4			26,3			
Метил- фенол, 2-	95–48–7			66,3			0,008
Метил- фенол, 3-	108–39–4			66,3			
Метил- фенол, 4-	106–44–5			66,3			
Метокси- этанол, 2-	109–86–4		0,02			кровь	
Мышьяк	7440–38–2		0,0004	0,03		репрод., развитие	
Натрия гидроксид	1310–73–2		0,005			органы дыхания, глаза	
Нафталин	91–20–3			78,6			0,01
Никель	7440–02–0		0,003	3		органы дыхания, иммун.	
Нитробензол	98–95–3			15,1			0,0182
Озон	10028–15–6		0,18			органы дыхания, глаза	0,4
Пентахлор- бензол	608–93–5			1			
Пентахлор- нитробензол	82–68–8			1,45			
Пентахлор- фенол	87–86–5			1,53			
Пиридин	110–86–1			48,5			0,2

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Пропилен-оксид	75-56-9		6			органы дыхания, глаза	0,4
Ртуть	7439-97-6		0,002	0,0738	0,00002	развитие	
Свинец	7439-92-1			0,0381		ЦНС, кровь, развитие	
Селен	7782-49-2		0,003	0,58		органы дыхания, глаза	
Серы диоксид	7446-0-9-5		0,66		0,026	органы дыхания	1,3
Серная кислота	7664-93-9		0,1			органы дыхания	0,6
Сероуглерод	75-15-0		20	3,1		репрод., развитие	0,04
Стирол	100-42-5		20	213		органы дыхания, глаза	0,02
Сульфаты			0,12			органы дыхания	
Сурьма	7440-36-0			1,49			
Таллий	7440-28-0						
Тетрахлор-бензол, 1,2,4,5-	95-94-3			30			
Тетрахлор-метан	56-23-5		5	126	1,3	печень, репрод., развитие	11,6
Тетрахлор-этан, 1,1,1,2-	630-20-6			61,8			
Тетрахлор-этан, 1,1,2,2-	79-34-5			20,6			0,07
Тетрахлор-этилен	127-18-4		10	678	1,4	ЦНС, органы дыхания, глаза	1,7
Толуол	108-88-3		40	188	15	ЦНС	2,07
Тринитро-бензол, 1,3,5-	99-35-4			30			

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Трихлор-бензол, 1,2,4-	120–82–1			22,3			
Трихлор-пропан, 1,2,3-	96–18–4				0,0018	органы дыхания	
Трихлор-фенол, 2,4,5-	95–95–4			30			
Трихлор-фенол, 2,4,6-	88–06–2			30			
Трихлор-фторметан	75–69–4			2810			1246
Трихлорэтан, 1,1,1-	71–55–6		70		10,8	ЦНС	2,3
Трихлорэтан, 1,1,2-	79–00–5			164			
Трихлор-этилен	79–01–6			537	11	ЦНС	25,5
Триэтиламин	121–44–8		3			органы дыхания, ЦНС	0,33
Углерода оксид	630–08–0		23			серд.-сос. сист.	
Фенол	108–95–2		6	38,5		органы дыхания, глаза	0,03
Формальдегид	50–00–0		0,3		0,06	органы дыхания	0,07
Фосген	75–44–5		0,004			органы дыхания	
Фталевый ангидрид	85–44–9			18			0,32
Хлор	7782–50–5	2,9	0,2			органы дыхания	0,8
Хлор-анилин, 4-	10647–8			30			0,07
Хлорбензол	108–90–7			345			0,4
Хлористо-водородная кислота	7647–01–0		2			органы дыхания, глаза	
Хлорметан	74–87–3			207	1	ЦНС	

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Хлор-нафталин, 2-	91–58–7			0,599			
Хлороформ	67–66–3		0,4	488	0,49	печень, органы дыхания	2,3
Хлорпикрин	76–06–2		0,007			органы дыхания, глаза	
Хлорфенол, 2-	95–57–8			6,31			
Хризен	218–01–9			0,299			
Хром	7440–47–3			1,49			
Хром (VI)	18540–29–9			0,15		органы дыхания	
Эпихлор-гидрин	106–89–8		3	7,57		органы дыхания, глаза	0,3
Этилбензол	100–41–4			543		развитие	0,12
Этиленоксид	75–21–8			9			1,5
Этокси-этанол, 2-	110–8–5		0,9			репрод., развитие	
Этоксиэтил-ацетат, 2-	111–15–9		0,3			репрод., развитие	

Примечания: AEG1 — рекомендуемые допустимые уровни для острых экспозиций (US EPA); AREL — референтная концентрация для острых (одно-часовых) экспозиций (CalEPA); ERPG1 — рекомендуемые уровни для планирования действий при аварийных ситуациях (AIHA — Американская ассоциация промышленных гигиенистов); MRL — уровень минимального риска для кратковременных (от нескольких часов до 14 дней) воздействий (ATSDR — Агентство по токсическим соединениям и регистру заболеваний).

*укрупненная классификация критических органов/систем, рекомендуемая для использования при оценке риска воздействия химических веществ на здоровье населения, (см. Приложение 3, табл. 3)

Таблица 2

**Референтные концентрации
для хронических ингаляционных воздействий**

Вещество	CAS	RfC ₃ мг/м ³	Источ- ник	Критические органы/системы*
1	2	3	4	5
Азота диоксид	10102-44-0	0,04	WHO	органы дыхания
Азотная кислота	4697-37-2	0,04	CalEPA	органы дыхания
Акриловая кислота	79-10-7	0,001	IRIS	органы дыхания
Акрилонитрил	107-13-1	0,002	IRIS	органы дыхания
Акролеин	107-02-8	0,00002	IRIS	органы дыхания
Алюминий и его соединения	7429-90-5	0,005	NCEA	ЦНС, органы дыхания
Аммиак	7664-41-7	0,1	IRIS	органы дыхания
Анилин	62-53-3	0,001	IRIS	селезенка, кровь
Ацетальдегид	75-07-0	0,009	IRIS	органы дыхания
Ацетон	67-64-1	30	ATSDR	печень, почки, кровь, ЦНС
Ацетонитрил	75-05-8	0,06	IRIS	системн.
Ацетонциан-гидрин	75-86-5	0,01	HEAST	печень
Ацетофенон	98-86-2	0,00002	IRIS	ЦНС, органы дыхания
Барий и его соединения	7440-39-3	0,0005	HEAST	репрод.
Бензол	71-43-2	0,06	CalEPA	развитие, кровь, ЦНС
Бериллий и его соединения	7440-41-7	0,00002	IRIS	органы дыхания, иммун.
Бромметан	74-83-9	0,005	IRIS	ЦНС, органы дыхания, развитие

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Бромэтен	593–60–2	0,003	IRIS	печень, жел.-киш. тракт
Бутадиен, 1,3-	106–99–0	0,008	CalEPA	репрод.
Бутанол, 2-	78–92–2	0,3	IRIS	ЦНС
Бутанон, 2-	78–93–3	1	IRIS	развитие
Бутеноксид, 1-	106–88–7	0,02	IRIS	органы дыхания
Бутилацетат	123–86–4	0,7	IWA	органы дыхания
Бутоксиэтанол, 2-	111–76–2	13	IRIS	кровь
Ванадий и его соединения	7440–62–2	0,00007	EPA	органы дыхания
Взвешенные вещества (PM10)		0,05	NAAQS	органы дыхания
Взвешенные вещества (PM2,5)		0,015	NAAQS	органы дыхания
Взвешенные вещества (TSP)		0,1**		органы дыхания
Винилацетат	108–05–4	0,2	IRIS	органы дыхания
Винилхлорид	75–01–4	0,005	CalEPA	развитие
Водорода сульфид	7783–06–4	0,001	IRIS	органы дыхания
Водорода фторид	7664–39–3	0,03	CalEPA	костная сист., органы дыхания
Водорода хлорид	7647–01–0	0,02	IRIS	органы дыхания
Водорода цианид	74–90–8	0,003	IRIS	серд.-сос. сист., ЦНС, гормон.
Гексаметилен- диизоцианат	822–06–0	0,00001	IRIS	органы дыхания
Гексан	110–54–3	0,2	IRIS	ЦНС, органы дыхания
Гексанон, 2-	591–78–6	0,005	NCEA	ЦНС, органы дыхания

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Гексахлорбензол	118–74–1	0,003	CalEPA	печень
Гексахлор- бутадиен	87–68–3	0,09	CalEPA	развитие, системн.
Гексахлорэтан	67–72–1	0,08	CalEPA	ЦНС, системн.
Гидразин	302–01–2	0,0002	CalEPA	печень, гормон.
Ди(2-этил- гексил)фталат	117–81–7	0,01	CalEPA	печень, органы дыхания
Дибромэтан, 1,2-	106–93–4	0,0008	CalEPA	почки, печень, развитие, репрод.
Диванадия пентоксид	1314–62–1	0,00007	CalEPA	органы дыхания
Дизельных дви- гателей эмиссии		0,005	IRIS	органы дыхания
Диметиламин	124–40–3	0,00002	IRIS	органы дыхания
Диметил- гидразин, 1,1-	57–14–7	0,00001	ATSDR	печень
Диоксан, 1,4-	123–91–1	0,8	EPA	печень, почки, кровь
Дифтор-1-хлор- этан, 1,1-	75–68–3	50	IRIS	ЦНС
Дихлорбензол, 1,2-	95–50–1	0,2	HEAST	почки, развитие, масса тела
Дихлорбензол, 1,3-	541–73–1	0,008	NCEA	почки, развитие
Дихлорбензол, 1,4-	106–46–7	0,8	IRIS	печень, почки, развитие
Дихлордифтор- метан	75–71–8	0,2	HEAST	печень, развитие,
Дихлорметан	75–09–2	0,4	CalEPA	печень, ЦНС, серд.-сос. сист.
Дихлорпропан, 1,2-	78–87–5	0,004	IRIS	органы дыхания
Дихлорпропен, 1,3-	542–75–6	0,02	IRIS	органы дыхания
Дихлорпропен, транс-1,3-	10061–02–6	0,02	IRIS	органы дыхания

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Дихлорпропен, цис-1,3-	10061-01-5	0,02	IRIS	органы дыхания
Дихлорфторметан	75-43-4	0,6	IRIS	системн.
Дихлорэтан, 1,1-	75-34-3	0,5	HEAST	почки
Дихлорэтан, 1,2-	107-06-2	0,4	CalEPA	развитие
Дихлорэтилен, 1,2-	540-59-0	0,06	IRIS	печень, биохим., развитие
Изопропилбензол	98-82-8	0,4	IRIS	почки, гормон.
Изофорон	78-59-1	0,012	EPA	масса тела
Кадмий и его соединения	7440-43-9	0,0002	ATSDR	почки, органы дыхания
Керосин	8008-20-6	0,01	ATSDR	печень
Кобальт и его соединения	7440-48-4	0,000005	CalEPA	органы дыхания
Ксилол	1330-20-7	0,3	IRIS	ЦНС, кровь, биохим.
Ксилол, о-	95-47-6	0,44	CEPA	развитие
Ксилол, м-	108-38-3	0,44	CEPA	развитие
Ксилол, п-	106-42-3	0,44	CEPA	развитие, ЦНС, органы дыхания
Марганец и его соединения	7439-96-5	0,00005	IRIS	ЦНС
Медь и ее соединения	7440-59-8	0,00002	CalEPA	органы дыхания, системн.
Метанол	67-56-1	4	CalEPA	развитие
Метил-2-пентанон, 4-	108-10-1	0,08	HEAST	печень, почки
Метилизоцианат	624-83-9	0,001	CalEPA	органы дыхания, системн.
Метилмеркаптан	74-93-1	0,001	IWA	органы дыхания, ЦНС

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Метилметакрилат	80–62–6	0,7	IRIS	органы дыхания
Метил-трет-бутиловый эфир	1634–04–4	3	IRIS	печень, почки
Метилциклогексан	108–87–2	3	HEAST	почки
Метокси-2-пропанол, 1-	107–98–2	2	IRIS	печень, почки
Метоксиэтанол, 2-	109–86–4	0,02	IRIS	репрод.
Метоксиэтил-ацетат, 2-	110–49–6	0,09	CalEPA	репрод.
Монохлорамин	10599–90–3	0,35	HEAST	печень, почки, системн.
Мышьяк и его соединения	7440–38–2	0,00003	CalEPA	развитие
Нафталин	91–20–3	0,003	IRIS	органы дыхания
Нефть и нефтепродукты	8002–05–9	0,071	MADEP	почки
Никель и его соединения	7440–02–0	0,00005	CalEPA	органы дыхания, кровь
Никеля оксид	1313–99–1	0,0001	CalEPA	органы дыхания, кровь
Нитробензол	98–95–3	0,03	CalEPA	печень, почки, кровь, гормон., ЦНС
Перилен	198–55–0	0,07	MADEP	почки
Пиридин	110–86–1	0,007	EPA	печень, биохим.
Полихлорированные бифенилы	1336–36–3	0,0012	CalEPA	печень, почки, гормон.
Пропилен	115–07–1	3	CalEPA	органы дыхания
Пропиленоксид	75–56–9	0,03	IRIS	органы дыхания
Ртуть и ее соединения	7439–97–6	0,0003	IRIS	ЦНС

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Свинец и его неорганические соединения	7439–92–1	0,00015	CalEPA	ЦНС, развитие, кровь
Селен	7782–49–2	0,00008	CalEPA	органы дыхания, системн.
Серы диоксид	7446–09–5	0,08	NAAQS	органы дыхания
Сероуглерод	75–15–0	0,7	IRIS	ЦНС, развитие
Стирол	100–42–5	1	IRIS	ЦНС
Стиролоксид	96–09–3	0,006	CalEPA	органы дыхания, системн.
Тетрахлордibenzo-п-диоксин, 2,3,7,8-	1746–01–6	0,00000004	CalEPA	печень, развитие, гормон., репрод., кровь
Тетрахлордibenзофуран, 2,3,7,8-	51207–31–9	0,00000004	CalEPA	печень, развитие, гормон., репрод., кровь
Тетрахлорметан	56–23–5	0,04	CalEPA	печень, развитие
Тетрахлорфенол	25167–83–3	0,09	CalEPA	печень
Тетрахлорэтан, 1,1,2,2-	79–34–5	0,2	NCEA	печень
Тетрахлорэтилен	127–18–4	0,035	CalEPA	почки, печень, развитие, ЦНС
Толуилен диизоцианат, 2,4-	584–84–9	0,00007		органы дыхания
Толуол	108–88–3	0,4	IRIS	ЦНС, развитие, органы дыхания
Толуол-2,6-диизоцианат	91–08–7	0,00007		органы дыхания
Толуолдиизоцианат (смесь изомеров)		0,00007	CalEPA	органы дыхания
Толуолдиизоцианат, 1,3-	26471–62–5	0,00007	IRIS	органы дыхания
Трикрезол	1319–77–3	0,004	CalEPA	кровь

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Триметилбензол, 1,2,4-	95–63–6	0,006	NCEA	ЦНС, почки, биохим.
Триметилбензол, 1,3,5-	108–67–8	0,006	NCEA	ЦНС, почки, биохим.
Трифтор-1,1,2-трихлорэтан, 1,2,2-	76–13–1	90	CalEPA	масса тела
Трихлорбензол, 1,2,4-	120–82–1	0,2	HEAST	печень
Трихлорбензол, 1,3,5-	108–70–3	0,0036	HC	развитие, почки, органы дыхания
Трихлорфторметан	75–69–4	20	CalEPA	развитие, почки, органы дыхания
Трихлорэтан, 1,1,1-	71–55–6	1	NCEA	печень, развитие, ЦНС
Трихлорэтан, 1,1,2-	79–00–5	0,4	CalEPA	развитие
Трихлорэтилен	79–01–6	0,6	CalEPA	развитие
Триэтиламин	121–44–8	0,007	IRIS	органы дыхания
Углерода оксид	630–08–0			ЦНС, серд.-сос. сист., кровь
Фенол	108–95–2	0,006	EPA	серд.-сос. сист., почки, ЦНС, печень
Формальдегид	50–00–0	0,003	CalEPA	органы дыхания, иммун.
Фосген	75–44–5	0,0003	CalEPA	органы дыхания
Фосфор	7723–14–0	0,00007	CalEPA	репрод., системн., волосы
Фосфорная кислота	7664–38–2	0,01	IRIS	органы дыхания
Фталевый ангидрид	85–44–9	0,01	CalEPA	органы дыхания
Фториды	16984–48–8	0,03	CalEPA	костная сист., органы дыхания
Фурфурол	98–01–1	0,05	HEAST	органы дыхания

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
Хлор	7782–05–5	0,0002	CalEPA	органы дыхания
Хлора диоксид	10049–04–4	0,0002	IRIS	органы дыхания
Хлор-1,2-дибром-пропан, 3-	96–12–8	0,0002	IRIS	репрод.
Хлорацетофенон, альфа-	532–27–4	0,00003	IRIS	органы дыхания
Хлорбензол	108–90–7	0,059	NCEA	печень, почки
Хлорбута-1,3-диен, 2-	126–99–8	0,007	HEAST	органы дыхания, развитие
Хлордиоксины и дибензофураны		0,00000004	CalEPA	печень, иммун., репрод., развитие, гормон.
Хлордифторметан	75–45–6	50	IRIS	почки, эндокрин. (надпочечники, гипофиз), развитие
Хлорметан	74–87–3	0,1	ATSDR	ЦНС
Хлороформ	67–66–3	0,098	ATSDR	печень, развитие, почки
Хлорпикрин	76–06–2	0,004	CalEPA	печень, органы дыхания, системн.
Хлорпропан, 2-	75–29–6	0,1	HEAST	печень
Хлорфенол, 2-	95–57–8	0,0014	EPA	развитие, репрод.
Хлорэтан	75–00–3	10	IRIS	развитие, жел.-киш. тракт
Хром (III)	16065–83–1			органы дыхания
Хром (VI)	18540–29–9	0,0001	IRIS	органы дыхания
Хромовая кислота	7783–94–5	0,00001	IRIS	органы дыхания
Цианиды	57–12–5	0,003	IRIS	нервная сист., гормон.
Циклогексан	110–82–7	0,28	NATICH	ЦНС, органы дыхания

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5
Циклогексанол	108–93–0	0,00002	EPA	мышечная сист.
Цинк и его соединения	17440–66–6	0,0009	CalEPA	органы дыхания, иммун.
Эпихлоргидрин	106–89–8	0,001	IRIS	органы дыхания
Этанол	64–17–5	100	CalEPA	ЦНС, органы дыхания
Этилбензол	100–41–4	1	IRIS	развитие, печень, почки, гормон.
Этилен	74–85–1	0,1	CalEPA	кровь
Этиленоксид	75–21–8	0,005	CalEPA	кровь, мутаген.
Этилмеркаптан	75–08–1	0,001	IWA	органы дыхания
Этоксизэтанол, 2-	110–80–5	0,2	IRIS	репрод., кровь
Этоксизэтил-ацетат, 2-	111–15–9	0,3	EPA	репрод., кровь

Примечания: RfC — референтная концентрация, выбранная на основе углубленного анализа международных и зарубежных уровней безопасного воздействия; IWA — рекомендации по оценке риска воздействия промышленных отходов (Канада); WHO (ВОЗ) — Всемирная организация здравоохранения; NAAQS — Национальные стандарты качества атмосферного воздуха, установленные US EPA; NATICH — база данных US EPA.

*укрупненная классификация критических органов/систем, рекомендуемая для использования при оценке риска воздействия химических веществ на здоровье населения (см. Приложение 3, табл. 3)

**исходя из соотношения: $PM_{10} = 0,55 \times TSP$

Таблица 3

Критические органы и системы организма

Сокращенное наименование	Характеристика
биохим.	изменения биохимических показателей (с идентификацией специфического фермента, например, ХЭ — холинэстераза)
волосы	влияние на волосы, включая алопецию
глаза	влияние на орган зрения
гормон.	влияние на эндокринную систему
жел.-киш. тракт	влияние на желудочно-кишечный тракт, кроме печени
иммун.	влияние на иммунную систему, включая развитие аллергических реакций, иммуноотоксическое действие
костная сист.	влияние на костную систему
кровь	влияние на кровяную систему и показатели периферической крови
нервная сист.	влияние на периферическую и центральную нервную систему, включая дегенерацию миелиновых оболочек
органы дыхания	влияние на органы дыхания
печень	влияние на печень, включая индукцию микросомальных ферментов
мышечная ткань	влияние на мышечную ткань
почки	влияние на почки
развитие	влияние на процессы развития организма, включая эмбриотоксическое и тератогенное действие, нарушения интеллектуального развития и способности к обучению
репрод.	влияние на репродуктивную систему
селезенка	влияние на селезенку
серд.-сос. сист.	влияние на сердечно-сосудистую систему
системн.	системные эффекты, включая достоверные изменения динамики массы тела, множественные поражения органов, развитие явных клинических симптомов интоксикации, преждевременную смерть
мутаген.	мутагенное воздействие
эндокрин.	влияние на эндокринную систему (надпочечники, гипофиз)
ЦНС	влияние на центральную нервную систему
масса тела	достоверные изменения динамики массы тела при отсутствии каких-либо других вредных эффектов

Зависимость «доза-ответ»

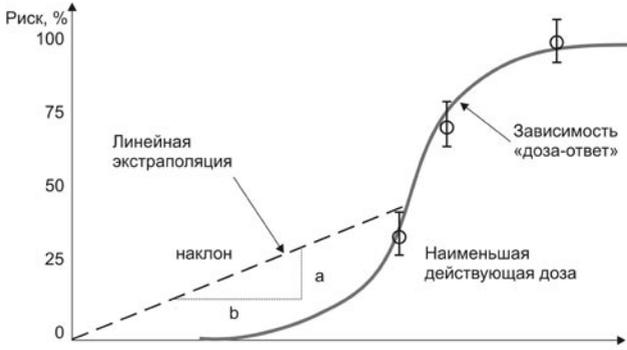


Рис. 1. Зависимость «доза-ответ» для канцерогенов с беспороговым механизмом действия

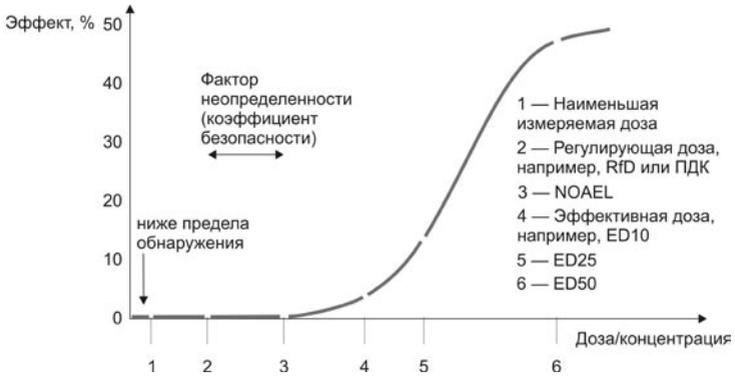


Рис. 2. Зависимость «доза-ответ» для неканцерогенных химических веществ

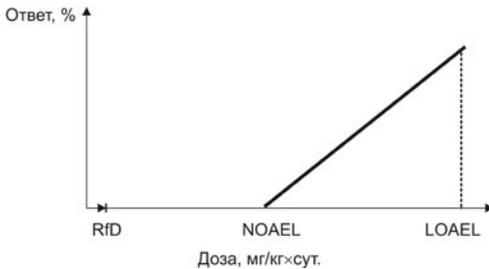


Рис. 3. Зависимость «доза-ответ» для неканцерогенов

Приложение 5

Стандартные факторы экспозиции

Фактор экспозиции	Величина
Продолжительность экспозиции	
Хроническое воздействие, взрослые	30 лет
Пожизненное воздействие (канцерогены)	70 лет
Хроническое воздействие, дети до 6 лет	6 лет
Средняя продолжительность жизни	70 лет
Ингаляционная экспозиция	
Скорость ингаляции, взрослый, общая характеристика	20 м ³ /день
Скорость ингаляции, взрослый, деятельность только внутри помещения	15 м ³ /день
Скорость ингаляции, ребенок от 6 до 18 лет	20 м ³ /день
Скорость ингаляции, ребенок от 0 до 6 лет	4 м ³ /день
Скорость ингаляции, производственный сценарий, взрослый	10 м ³ /смена
Скорость ингаляции, ребенок до 1 года	4,5 м ³ /день
Скорость ингаляции, ребенок от 1 до 12 лет	8,7 м ³ /день
Скорость ингаляции, взрослая женщина	11,3 м ³ /день
Скорость ингаляции, взрослый мужчина	15,2 м ³ /день
Скорость ингаляции при активной деятельности	0,018 м ³ /кг×ч
Скорость ингаляции во время отдыха	0,006 м ³ /кг×ч
Частота экспозиции, сценарий жилой зоны	350 дней/год
Частота экспозиции, производственный сценарий	250 дней/год
Ингаляция пыли	
Концентрация респирабельных частиц в воздухе (хроническая экспозиция)	22 мкг/м ³
Концентрация респирабельных частиц в воздухе (острая экспозиция)	60 мкг/м ³
Контаминированная фракция ингалируемой почвы, сценарий жилой зоны	1,0
Масса тела	
Масса тела, ребенок от 0 до 6 лет	14–15 кг
Масса тела, ребенок от 6 до 18 лет	42 кг
Масса тела, взрослый, 18 и более лет	70 кг

Приложение 6

Фактор неопределенности Компоненты фактора неопределенности, используемые для установления безопасных уровней воздействия химических веществ

Фактор	Величина фактора неопределенности
1	2
Экстраполяция результатов, полученных при нестандартном режиме воздействия, на реальные условия воздействия на человека	Расчет с использованием средневзвешенных по времени величин (с учетом пересчетных коэффициентов)
Экстраполяция на эквивалентную концентрацию для человека (НЕС): дополнительный учет особенностей абсорбции газов или аэрозолей в органах дыхания животных и человека	Применение дозиметрических моделей ингаляционного воздействия
Экстраполяция с субхронического на хроническое пожизненное воздействие	1 — если продолжительность воздействия больше 12% от средней продолжительности жизни; 3 — 8–12% от средней продолжительности жизни; 10 — менее 8% от средней продолжительности жизни
Экстраполяция с LOAEL на NOAEL	1 — при отсутствии вредных эффектов; 3 — средняя или низкая частота эффекта (менее 50%); 10 — высокая частота эффекта
Межвидовая экстраполяция	1 — исследования на людях; 3 — исследования на животных (если не используется расчет НЕС); 10 — исследования на животных при отсутствии сведений о видовой чувствительности

Окончание Приложения 6

1	2
Экстраполяция со среднего индивидуума на наиболее чувствительные подгруппы (внутривидовая экстраполяция)	1 — исследования на наиболее чувствительной субпопуляции; 10 — обычная (средняя) субпопуляция
Экстраполяция с одного пути воздействия на другой (с учетом различий в токсичности при разных путях поступления)	3,5 мг/м ³ на 1 мг/кг (масса тела 70 кг, суточное поступление воздуха — 20 м ³ , воды — 2 л)
Влияние вещества на развивающийся организм (плод, новорожденный, ребенок)	1–10
Экстраполяция от минимальной к полной базе данных	Менее или равно 10
Экстраполяция от более тяжелых эффектов к менее тяжелым	С учетом выраженности наблюдаемых изменений
Модифицирующий фактор	1–10

Приложение 7

Факторы эквивалентной токсичности

Таблица 1

Факторы эквивалентной токсичности для канцерогенных полициклических ароматических углеводородов

Вещество	ВОЗ	US EPA	CalEPA
Антрацен	0,28–0,32	—	—
Бензо(а)пирен	1,0	1,0	1,0
Бенз(а)антрацен	0,014–0,145	0,1	0,1
Бензо(б)флуорантен	0,1–0,141	0,1	0,1
Бензо(к)флуорантен	0,01–0,1	0,01	0,1
Бензо(ф)флуорантен	—	—	0,1
Бензо(ј)флуорантен	0,045–0,1	—	—
Дибензо[а,е]флуорантен	1,0	—	—
Дибензо[а,е]пирен	1,0	—	1,0
Дибензо[а,һ]пирен	1,0–1,2	—	10,0
Дибензо[а,і]пирен	100,0	—	10,0
Дибензо[а,і]пирен	0,1	—	10,0
Хризен	0,001–0,1	0,001	0,01
Дибенз[а,һ]антрацен	0,89–5,0	1,0	—
Дибенз[а,с]антрацен	0,1	—	—
5-метилхризен	—	—	1,0
Флуорантен	0,001–0,01	—	—
Циклопента[с, d]пирен	0,012–0,1	—	—
Индено(1,2,3-с, d)пирен	0,067–0,232	0,1	0,1

Таблица 2

Факторы эквивалентной токсичности для хлорированных дибензо-п-диоксинов (US EPA)

Вещество	PEF
2,3,7,8-тетрахлордибензо-п-диоксин (ТХДД)	1,0
2,3,7,8-полихлордибензо-п-диоксин (ПХДД)	0,5
2,3,7,8-гексахлордибензо-п-диоксин (ГХДД)	0,1
2,3,7,8-гептахлордибензо-п-диоксин (ГептаХДД)	0,01
Октахлордибензо-п-диоксин (ОХДД)	0,001
Другие хлордибензодиоксины	0

Таблица 3

**Факторы эквивалентной токсичности
для хлорированных дибензо-п-фуранов (US EPA)**

Вещество	PEF
2,3,7,8-тетрахлордибензо-п-фуран (ТХДФ)	0,1
1,2,3,7,8-полихлордибензо-п-фуран (ПХДФ)	0,5
2,3,4,7,8-пектахлордибензо-п-фуран (ПектаХДФ)	0,05
2,3,7,8-гексахлордибензо-п-фуран (ГХДФ)	0,1
2,3,7,8-гептахлордибензо-п-фуран (ГептаХДФ)	0,01
Октахлордибензо-п-фуран (ОХДФ)	0,001
Другие хлордибензофураны	0

Таблица 4

**Факторы эквивалентной токсичности,
рекомендованные ВОЗ для хлорированных дибензо-п-диоксинов,
дибензофуранов и полихлорированных бифенилов**

Изомер	PEF	Изомер	PEF
<i>Дибензо-п-диоксины</i>		<i>Полихлорированные бифенилы (ПХБ) (кроме ортоизомеров)</i>	
2,3,7,8-ТХДД	1	ПХБ 77	0,0001
1,2,3,7,8-ПХДД	1	ПХБ 81	0,0001
1,2,3,4,7,8-ГХДД	0,1	ПХБ 126	0,1
1,2,3,6,7,8-ГХДД	0,1	ПХБ 169	0,01
1,2,3,7,8,9-ГХДД	0,1	<i>ПХБ (моно-, ортоизомеры)</i>	
1,2,3,4,6,7,8-ГептаХДД	0,01	ПХБ 1,05	0,0001
ОХДД	0,0001	ПХБ 114	0,0005
<i>Дибензофураны</i>		ПХБ 118	0,0001
2,3,7,8-ТХДФ	0,1	ПХБ 123	0,0001
1,2,3,7,8-ПХДФ	0,05	ПХБ 156	0,0005
2,3,4,7,8-ПектаХДФ	0,5	ПХБ 157	0,0005
1,2,3,4,7,8-ГХДФ	0,1	ПХБ 167	0,00001
1,2,3,6,7,8-ГХДФ	0,1	ПХБ 189	0,0001
1,2,3,7,8,9-ГХДФ	0,1		
2,3,4,6,7,8-ГХДФ	0,1		
1,2,3,4,6,7,8-ГептаХДФ	0,01		
1,2,3,4,7,8,9-ГептаХДФ	0,01		
ОХДФ	0,0001		

Приложение 8

Комбинированное воздействие

Таблица 1

**Анализ канцерогенных рисков
при одновременном воздействии нескольких химических веществ**

Путь поступления	Вещество 1	Вещество 2	Вещество n	Сумма
Атмосферный воздух				
Ингаляционный	CR_{ai1}	CR_{ai2}	CR_{ain}	CR_{aij}

Таблица 2

**Канцерогенный риск на изучаемой территории
от всех учетных источников загрязнения окружающей среды**

Рецепторная точка	Предприятие 1 (источник 1)	Автотранспорт (источник 2)	Предприятие j (источник j)	Сумма
1	CR_{11}	CR_{21}	CR_{j1}	TCR_1
2	CR_{12}	CR_{22}	CR_{j2}	TCR_2
i	CR_{1i}	CR_{2i}	CR_{ji}	TCR_i
Сумма	$CR_{11} + CR_{12} + CR_{1i}$	$CR_{21} + CR_{22} + CR_{2i}$	$CR_{j1} + CR_{j2} + CR_{ji}$	TCR
Вклад, %	VCR_1	VCR_2	VCR_j	100

Примечания:

1. TCR — суммарный канцерогенный риск на исследуемой территории от всех учетных источников загрязнения окружающей среды.
2. $TCR_1, TCR_2, \dots, TCR_i$ — суммарные канцерогенные риски от всех источников в отдельных рецепторных точках.
3. $VCR_1, VCR_2, \dots, VCR_j$ — вклад данного источника в величину TCR.

Приложение 9

Нормальное вероятностное распределение

Prob	Risk	Prob	Risk
-3,0	0,001	0,1	0,540
-2,5	0,006	0,2	0,579
-2,0	0,023	0,3	0,618
-1,9	0,029	0,4	0,655
-1,8	0,036	0,5	0,692
-1,7	0,045	0,6	0,726
-1,6	0,055	0,7	0,758
-1,5	0,067	0,8	0,788
-1,4	0,081	0,9	0,816
-1,3	0,097	1,0	0,841
-1,2	0,115	1,1	0,864
-1,1	0,136	1,2	0,885
-1,0	0,157	1,3	0,903
-0,9	0,184	1,4	0,919
-0,8	0,212	1,5	0,933
-0,7	0,242	1,6	0,945
-0,6	0,274	1,7	0,955
-0,5	0,309	1,8	0,964
-0,4	0,345	1,9	0,971
-0,3	0,382	2,0	0,977
-0,2	0,421	2,5	0,994
-0,1	0,460	3,0	0,999
0,0	0,500		