



**Всемирная организация  
здравоохранения**

**Европейское** региональное бюро

# РУКОВОДСТВО ВОЗ ПО КАЧЕСТВУ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ: ИЗБРАННЫЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА

**Резюме**

Это перевод Резюме публикации ВОЗа на английском языке:  
[http://www.euro.who.int/\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf)

Запросы относительно публикаций Европейского регионального бюро ВОЗ следует направлять по адресу:

Publications  
WHO Regional Office for Europe  
Scherfigsvej 8  
DK-2100 Copenhagen Ø, Denmark

Кроме того, запросы на документацию, информацию по вопросам здравоохранения или разрешение на цитирование или перевод документов ВОЗ можно заполнить в онлайн-режиме на сайте Регионального бюро:

<http://www.euro.who.int/PubRequest?language=Russian>.

© **Всемирная организация здравоохранения, 2011 г.**

Все права защищены. Европейское региональное бюро Всемирной организации здравоохранения охотно удовлетворяет запросы о разрешении на перепечатку или перевод своих публикаций частично или полностью.

Обозначения, используемые в настоящей публикации, и приводимые в ней материалы не отражают какого бы то ни было мнения Всемирной организации здравоохранения относительно правового статуса той или иной страны, территории, города или района или их органов власти или относительно делимитации их границ. Пунктирные линии на географических картах обозначают приблизительные границы, относительно которых полное согласие пока не достигнуто.

Упоминание тех или иных компаний или продуктов отдельных изготовителей не означает, что Всемирная организация здравоохранения поддерживает или рекомендует их, отдавая им предпочтение по сравнению с другими компаниями или продуктами аналогичного характера, не упомянутыми в тексте. За исключением случаев, когда имеют место ошибки и пропуски, названия патентованных продуктов выделяются начальными прописными буквами.

Всемирная организация здравоохранения приняла все разумные меры предосторожности для проверки информации, содержащейся в настоящей публикации. Тем не менее, опубликованные материалы распространяются без какой-либо явно выраженной или подразумеваемой гарантии их правильности. Ответственность за интерпретацию и использование материалов ложится на пользователей. Всемирная организация здравоохранения ни при каких обстоятельствах не несет ответственности за ущерб, связанный с использованием этих материалов. Мнения, выраженные в данной публикации авторами, редакторами или группами экспертов, необязательно отражают решения или официальную политику Всемирной организации здравоохранения.

## Резюме

Настоящий документ представляет собой руководство ВОЗ по защите здоровья населения от вредного воздействия ряда химических веществ, часто содержащихся в воздухе помещений. В основу руководства легли результаты всестороннего обзора и анализа накопленных научных данных, проведенного силами мультидисциплинарной группы экспертов, изучающих токсические свойства этих загрязнителей и вызываемые ими нарушения здоровья.

Химические вещества, рассмотренные в этом обзоре – бензол, оксид углерода, формальдегид, нафталин, диоксид азота, полициклические ароматические углеводороды (особенно бензо[а]пирен), радон, трихлорэтилен и тетрахлорэтилен, – включены в настоящее руководство на основе информации об имеющихся источниках внутри помещений, а также наличия токсикологических и эпидемиологических данных, в том числе об уровнях воздействия, вызывающих нарушения здоровья.

Неудовлетворительное качество воздуха внутри помещений расценивается в качестве серьезного фактора риска для здоровья в странах как с низким, так и со средним и высоким уровнями дохода. Важность данного вопроса обусловлена еще и тем, что люди проводят в помещении значительную часть времени. Загрязнение воздуха в помещениях домов престарелых и инвалидов, детских и прочих специализированных учреждений оказывает неблагоприятное воздействие на соответствующие группы населения, обладающие повышенной уязвимостью в связи с состоянием здоровья или возрастом.

Основная цель руководства – обеспечить унифицированную основу для защиты здоровья населения от загрязнения воздуха в помещениях и для того, чтобы устранить или снизить до минимального уровня воздействие тех загрязнителей, которые обладают подтвержденным или наиболее вероятным вредным эффектом. Руководство предназначено для работников общественного здравоохранения, занимающихся вопросами профилактики экологических рисков для здоровья, а также для специалистов и руководителей, решающих вопросы проектирования и эксплуатации зданий, материалов и изделий для использования в жилых и общественных помещениях. Содержание руководства основано на научных знаниях, накопленных к моменту его составления, и носит рекомендательный характер. Тем не менее, страны могут использовать его в качестве научного обоснования для внедрения законодательных стандартов, обязательных для соблюдения.

Обзор фактических данных, лежащий в основе рекомендаций по каждому из отобранных загрязнителей, включает оценку источников внутри помещений, наиболее часто наблюдаемые концентрации в помещениях и их связь с уровнями содержания в атмосферном воздухе, а также резюме фактических данных по кинетике, метаболизму и влиянию на здоровье. На базе накопленных научных данных эксперты сформулировали оценку риска для здоровья и приняли согласованные рекомендации по каждому из загрязнителей, основные положения которых приведены ниже.

### Бензол

Необходимость рекомендаций по предельным уровням содержания бензола в воздухе помещений обусловлена тем, что воздушная среда помещений – это один из основных источников воздействия бензола, который проникает в организм человека главным образом через дыхательные пути. Бензол обнаруживается как в воздухе помещений, так и в атмосфере. Однако его концентрация в воздухе помещений обычно выше, чем в атмосфере, вследствие поступления бензола из атмосферного воздуха и параллельно с этим – наличия многочисленных источников внутри помещений. В типичных случаях, однако, концентрации внутри помещений – ниже минимальных уровней с доказанным неблагоприятным воздействием на здоровье. Рекомендации по предельным уровням воздействия внутри

помещений необходимы в связи с тем, что бензол присутствует в воздухе помещений и воздействие на человека происходит в основном внутри помещений.

Бензол является генотоксичным канцерогеном, что исключает возможность установления предельного безопасного уровня воздействия. Риск токсического эффекта от вдыхания бензола не зависит от того, происходит ли это внутри или вне помещений. Таким образом, нет оснований полагать, что рекомендации для воздуха помещений должны отличаться от рекомендаций в отношении атмосферного воздуха. Рекомендуется использовать те же значения удельного (единичного) риска. Среднее геометрическое из вариантов приводимых расчетных значений избыточного риска развития лейкоза в течение жизни при концентрации бензола в воздухе  $1 \text{ мкг/м}^3$  составляет  $6 \times 10^{-6}$ . Концентрации бензола в воздухе, сопряженные с избыточным риском в течение жизни  $1/10\ 000$ ,  $1/100\ 000$  и  $1/1\ 000\ 000$  составляют, соответственно, 17, 1,7 и 0,17  $\text{мкг/м}^3$ .

Как указано выше, данных о наличии порога воздействия в отношении риска бензола для здоровья не имеется. Поэтому с практической точки зрения целесообразно снижать содержание бензола в воздухе помещений до как можно более низкого уровня. Это требует снижения или прекращения видов деятельности человека, способствующих выделению бензола, таких как табакокурение, использование растворителей для домашних работ или уборки помещения, применение строительных материалов, выделяющих бензол.

Адекватные методы вентиляции зависят от расположения здания. В современных зданиях, находящихся поблизости от дорог с интенсивным движением или других существенных внешних источников бензола, отверстия для забора воздуха должны располагаться на стороне здания с наименьшим уровнем загрязнения воздуха.

### **Оксид (монооксид) углерода**

Воздействие оксида углерода снижает максимальную физическую работоспособность среди молодых взрослых лиц, а также укорачивает время наступления ишемии и в некоторых случаях время снижения сегмента ST среди лиц с сердечно-сосудистыми заболеваниями, при этом в более низкой концентрации, чем требуется для снижения устойчивости к физической нагрузке среди здоровых лиц.

Зависимость между уровнем воздействия оксида углерода и концентрацией карбоксигемоглобина (СОНб) в крови можно моделировать с использованием дифференциального уравнения Кобурна–Форстера–Кейна, которое дает удовлетворительное расчетное приближение к значениям концентрации СОНб при постоянном уровне вдыхаемого оксида углерода. На основе лабораторного изучения снижения толерантности к физической нагрузке среди здоровых лиц и добровольцев с сердечно-сосудистыми заболеваниями было определено, что уровни СОНб не должны превышать 2%. Уравнение Кобурна–Форстера–Кейна используется, как показано ниже, для определения уровней оксида углерода, которые может переносить взрослый человек в состоянии покоя в течение различных интервалов воздействия без повышения уровня СОНб за пределы 2%.

В предыдущем издании руководства ВОЗ были установлены рекомендации при длительности воздействия 15 минут, предназначенные для защиты от краткосрочных пиковых воздействий, которые могут возникать, например, при пользовании печью с плохой тягой; 1 час – для защиты против избыточного воздействия, например при работе с неисправными приборами, и 8 часов, что соответствует профессиональному воздействию и использовалось как усредненная длительность воздействия при загрязнении атмосферного воздуха оксидом углерода. Мы советуем по-прежнему следовать существующим рекомендациям.

Хроническое воздействие оксида углерода, по-видимому, отличается от острого воздействия по ряду важных аспектов. Из выводов последних исследований, опубликованных в 2009 г., особенно тех эпидемиологических работ, где использовались очень крупные базы данных и

таким образом получены статистически весьма точные результаты, следует, что надлежащий предельный уровень долговременной средней концентрации оксида углерода в целях сведения к минимуму воздействия на здоровье должен находиться ниже 8-часового значения  $10 \text{ мг/м}^3$ . Таким образом, требуется отдельная рекомендация для учета 24-часовых воздействий.

Исходя из этого, предлагается следующая серия рекомендаций, относящихся к типичному воздействию внутри помещений:  $100 \text{ мг/м}^3$  в течение 15 минут и  $35 \text{ мг/м}^3$  – за 1 час (допуская наличие легкой физической нагрузки и то, что подобные уровни воздействия не наблюдаются чаще, чем один раз в день);  $10 \text{ мг/м}^3$  за 8 часов (среднее арифметическое значение концентрации, легкая до умеренной физическая нагрузка);  $7 \text{ мг/м}^3$  за 24 часа (среднее арифметическое значение концентрации, при условии, что воздействие происходит, когда человек бодрствует, однако не выполняет физическую работу).

### **Формальдегид**

Необходимость рекомендаций по формальдегиду обусловлена тем, что его проникновение в организм человека через дыхательные пути главным образом связано с его наличием в воздухе помещений. При этом концентрации могут быть достаточно высокими, чтобы вызвать нарушения здоровья.

По имеющимся данным, минимальная концентрация, вызывающая раздражение глаз у человека –  $0,36 \text{ мг/м}^3$  в течение 4 часов. Повышение частоты мигания и покраснение конъюнктивы возникает при  $0,6 \text{ мг/м}^3$ , что рассматривается как равное NOAEL (No Observable Adverse Effect Level; уровень, не вызывающий видимых неблагоприятных изменений). Признаков кумуляции эффекта при более длительном воздействии не отмечено.

Запах формальдегида может вызывать у некоторых лиц субъективные жалобы на сенсорное раздражение; человек может ощущать запах формальдегида при концентрациях ниже  $0,1 \text{ мг/м}^3$ , однако это не рассматривается как неблагоприятное воздействие на здоровье. NOAEL в значении  $0,6 \text{ мг/м}^3$  (по реакции мигания) корректируется с учетом фактора оценки 5, выводимого из стандартного отклонения пороговых значений для раздражения слизистой носа, что ведет к величине  $0,12 \text{ мг/м}^3$ , которое округлено до  $0,1 \text{ мг/м}^3$ . Такая концентрация в воздухе помещений, по всей вероятности, не несет с собой риска развития повышенной чувствительности либо сенсibilизации как для взрослых, так и для детей. Это значение относится к краткосрочным (30 мин.) воздействиям, и этот порог не должен быть превышен в течение любых дополнительных 30-минутных интервалов в тот же день.

Таким образом рекомендуемый предельный уровень воздействия формальдегида – не выше  $0,1 \text{ мг/м}^3$  за период не более 30 мин. – может использоваться в качестве меры профилактики сенсорного раздражения для общего населения.

Оценка долгосрочных последствий, включая злокачественные опухоли, основанная на подходе NOAEL с использованием оценочных факторов, также как и расчетов на биологически мотивированных моделях, дает аналогичные результаты со значениями приблизительно  $0,2 \text{ мг/м}^3$ . Эти значения выше рекомендуемого предельного содержания  $0,1 \text{ мг/м}^3$  для профилактики краткосрочных воздействий. Таким образом, использование краткосрочных (30 мин.) значений  $0,1 \text{ мг/м}^3$  также будет предупреждать отдаленные последствия для здоровья, включая злокачественные опухоли.

Использование строительных материалов и изделий с низким уровнем выделения химических веществ в окружающую среду и предупреждение воздействия окружающего табачного дыма и других продуктов горения сведет к минимуму риск, связанный с формальдегидом. Снижению воздействия формальдегида в помещениях может также способствовать улучшение вентиляции.

### **Нафталин**

Основные проявления вредного воздействия нафталина на здоровье – это поражения

дыхательных путей, включая опухоли верхних дыхательных путей, продемонстрированные в исследованиях на животных, а также гемолитическая анемия у человека.

Среди неопухолевых эффектов, основным, по-видимому, является поражение обонятельного эпителия, а при более высоких концентрациях – также респираторного эпителия у крыс. При концентрациях примерно в 100 раз выше минимально действующих возникают тяжелые воспалительные изменения и опухоли той же локализации.

Ключевое значение в развитии опухолей дыхательных путей отводится повышенной клеточной пролиферации в результате цитотоксического воздействия (поражения на клеточном уровне). Вероятное вовлечение цитотоксичных метаболитов в канцерогенные реакции и отсутствие у нафталина первичных генотоксических свойств позволяет допускать наличие пороговых уровней воздействия.

Поэтому надлежащим подходом для установления рекомендаций для воздуха помещений в целях сведения к минимуму канцерогенного риска нафталина для дыхательных путей является использование LOAEL/NOAEL (Low Observable Adverse Effect Level; уровень, вызывающий минимальные неблагоприятные изменения) в качестве пороговой величины в сочетании с учетом факторов безопасности.

В исследованиях на крысах при наличии нафталина в дозе 53 мг/м<sup>3</sup> (минимальная, но относительно высокая доза) во вдыхаемом воздухе в течение 6 часов в день 5 дней в неделю на протяжении 104 недель почти у всех животных развивались тяжелые воспалительные поражения. В отсутствие достаточного объема опубликованных данных в отношении менее выраженных эффектов, эту величину можно рассматривать как LOAEL, несмотря на то, что речь идет о тяжелых поражениях.

Рассматривая данную величину LOAEL как отправную точку и внося поправку на постоянное воздействие (разделить на коэффициент 24/6 и 7/5), получаем значение около 10 мг/м<sup>3</sup>. Затем, внося поправочный коэффициент 10 в связи с тем, что используется LOAEL, а не NOAEL, а также еще один коэффициент 10 на межвидовую вариацию и еще один коэффициент 10 на межиндивидуальную вариацию, получаем значение 0,01 мг/м<sup>3</sup>. Это рекомендуемое значение должно применяться как предельный среднегодовой уровень воздействия.

Избыточное или неправильное использование нафталиновых шариков против моли может приводить к развитию гемолитической анемии. Однако несмотря на то, что воздействие нафталина достоверно повышает риск гемолитической анемии у чувствительных лиц (с дефицитом глюкозо-6-фосфат дегидрогеназы), отсутствие адекватных данных по уровням воздействия не позволяет сформулировать соответствующую рекомендацию.

В отсутствие шариков против моли или других источников, таких как сжигание биомассы, уровни концентрации нафталина в помещениях, как правило, находятся чуть выше типичного предела выявления, т.е. около 0,001 мг/м<sup>3</sup>. Поскольку при использовании препаратов от моли концентрация нафталина в жилых помещениях повышается вплоть до 100 раз, наиболее эффективный путь предотвращения высоких уровней воздействия – это отказ (запрет) на использование нафталинсодержащих средств от моли.

### **Диоксид азота**

Рекомендуемое предельное воздействие диоксида азота в помещениях составляет 200 мкг/м<sup>3</sup> в течение 1 часа, что соответствует действующим рекомендациям ВОЗ по качеству воздуха.

При превышении этого уровня приблизительно в два раза у лиц, страдающих астмой, наблюдается незначительное снижение легочной функции. Однако даже при вышеуказанном уровне воздействия у сенсibilизированных лиц могут наблюдаться некоторые отклонения в реакции дыхательных путей на различные виды стимуляции. Исследования среды помещений не дают оснований для того, чтобы рекомендации для помещений отличались от рекомендаций для внешней среды.

Рекомендуемое предельное значение среднегодового воздействия диоксида азота в помещениях составляет  $40 \text{ мкг/м}^3$ , что также соответствует действующим рекомендациям ВОЗ по качеству воздуха.

Рекомендация по предельному среднегодовому воздействию в атмосферном воздухе –  $40 \text{ мкг/м}^3$  – первоначально базировалась на результатах мета-анализа исследований воздуха в помещениях. Было сделано допущение, что наличие газовой плиты эквивалентно повышению среднего уровня в помещении до  $28 \text{ мкг/м}^3$  по сравнению с жилищами с электрическими плитами; при этом по результатам мета-анализа, повышение содержания диоксида азота в помещениях до  $28 \text{ мкг/м}^3$  ассоциируется с 20%-ным повышением риска заболеваний нижних дыхательных путей среди детей.

В жилищах без наличия источников диоксида азота его средний расчетный уровень составляет  $15 \text{ мкг/м}^3$ . Эти данные согласуются с результатами ряда исчерпывающих обзоров, предпринятых в целях дальнейшего развития рекомендаций для внешней среды.

Недавно завершенные высококачественные эпидемиологические исследования, в которых проводилось измерение уровней диоксида азота в помещениях, подтверждают факт возникновения реакций со стороны органов дыхания при воздействии диоксида азота на уровнях, зафиксированных в рекомендации.

### **Полициклические ароматические углеводороды**

Некоторые полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются мощными канцерогенами и в воздушной среде, как правило, связаны с твердыми частицами. Таким образом, первичное воздействие канцерогенных ПАУ, находящихся в воздухе, происходит путем ингаляции частиц. ПАУ обнаруживаются в воздухе помещений в качестве сложных смесей, состав которых может варьировать в зависимости от конкретных условий. Экспериментальные данные по метаболизму, экспрессии генов и формированию аддуктов ДНК предполагают, что взаимодействие между ПАУ в смесях может иметь сложный характер и крайне непредсказуемо, варьируя в зависимости от различных сочетаний ПАУ (ингибиторный, аддитивный или синергический эффект).

С учетом трудностей в разработке рекомендаций по смесям ПАУ было принято решение в качестве наилучшего единичного индикаторного соединения использовать бензо[а]пирен (В[а]Р). Его токсикологические характеристики лучше всего изучены, преобладающая часть данных по концентрации единичных ПАУ в атмосферном воздухе помещений относятся именно к этому соединению, В[а]Р широко используется в эпидемиологических исследованиях в качестве индикаторного вещества для оценки уровней воздействия.

Результаты исследований влияния на здоровье показывают, что наиболее серьезным риском от воздействия ПАУ в воздухе помещений является рак легких. В[а]Р – это один из наиболее мощных канцерогенов среди всех известных ПАУ.

В опубликованных ВОЗ в 2000 г. результатах оценки ПАУ как загрязнителей атмосферного воздуха удельный риск рака был представлен в качестве функции от концентрации В[а]Р, служащего маркером смеси ПАУ. Использование такого же удельного риска для воздуха помещений предполагает, что В[а]Р составляет такую же долю онкогенной активности в смесях ПАУ, как и при производственных воздействиях, использованных для расчета удельного риска. Это предположение не всегда срабатывает, однако связанная с этим неопределенность в расчетах риска вряд ли является существенной.

Снижение уровней В[а]Р может также снижать риск других неблагоприятных воздействий на здоровье, связанных с ПАУ.

По данным эпидемиологических исследований рабочих, обслуживающих коксовые печи, расчетный удельный риск рака легких при воздействии смесей ПАУ составляет  $8,7 \times 10^{-5}$  на  $1 \text{ нг/м}^3$  содержания В[а]Р. Именно этот уровень является рекомендуемым предельным уровнем ПАУ в воздухе помещений. Соответствующие концентрации воздействия В[а]Р на

протяжении жизни, вызывающие избыточный риск рака в значениях 1/10 000, 1/100 000 и 1/1 000 000, составляют, соответственно, 1,2, 0,12 и 0,012 нг/м<sup>3</sup>.

## Радон

По классификации Международного агентства по изучению рака (МАИР) радон входит в число канцерогенных факторов, опасных для человека (Группа 1). Эпидемиологические исследования, проведенные в жилых помещениях, прямым образом подтверждают наличие риска рака легких от воздействия радона. Взаимодействие “доза–ответ” лучше всего описывается как линейное, без пороговых значений. Избыточный относительный риск при долгосрочном (30 лет) усредненном воздействии радона составляет 16% на каждые 100 Бк/м<sup>3</sup>, и эта относительная шкала не подвержена существенным вариациям в зависимости от того, идет ли речь о людях, курящих в настоящее время, курящих в прошлом или же тех, кто никогда не курил. Поэтому абсолютный риск рака легких при любой концентрации радона гораздо выше для людей, курящих в настоящее время, чем для тех, кто никогда не курил, и абсолютный риск рака легких от радона существенно выше для лиц, которые курят в настоящее время и курили в прошлом, чем для тех, кто никогда не курил. Для лиц, которые курили в прошлом, абсолютный риск находится в интервале между значениями для никогда не куривших и лиц, которые курят в настоящее время.

Для лиц, никогда не куривших, и для курящих в настоящее время (15–24 сигареты в день) был подсчитан кумулятивный риск смерти от рака легких, связанный с радоном. Вычисленное значение избыточного риска на протяжении жизни (к возрасту 75 лет) составляет на каждый Бк/м<sup>3</sup> соответственно  $0,6 \times 10^{-5}$  и  $15 \times 10^{-5}$ . Среди лиц, куривших ранее, риск занимает промежуточное положение в зависимости от времени, прошедшего с момента отказа от курения. Концентрации радона, сопряженные с избыточным риском в течение жизни 1:100 и 1:1000, составляют, соответственно, 67 Бк/м<sup>3</sup> и 6,7 Бк/м<sup>3</sup> для курильщиков и 1670 Бк/м<sup>3</sup> и 167 Бк/м<sup>3</sup> для лиц, никогда не куривших.

В качестве компонента решения проблемы радона Международный проект ВОЗ по радону рекомендовал введение референсного уровня в качестве основного инструмента в данном процессе.<sup>1</sup>

Национальный референсный уровень не определяет жестких границ между безопасными и вредными воздействиями, но устанавливает то значение риска от воздействия радона в помещениях, которое страна рассматривает как слишком высокий при отсутствии последующих мер защиты. Вместе с тем целесообразно принимать защитные меры и при уровнях ниже указанного для того, чтобы обеспечить еще более значительное уменьшение концентрации радона в жилищах. С учетом новейших научных данных, для минимизации угрозы здоровью ВОЗ предлагает использовать в качестве референсного уровня концентрации радона в воздухе помещений значение 100 Бк/м<sup>3</sup>. Однако, если преобладающие в стране условия не позволяют достичь этого уровня, то выбранный референсный уровень в любом случае не должен превышать 300 Бк/м<sup>3</sup>, что, в соответствии с недавними расчетами Международной комиссии по радиационной защите, составляет приблизительно 10 мЗв в год.

Рекомендации по контролю за содержанием радона должны включать дополнительно к установлению референсного уровня также строительные нормы и правила, инструкции по процедуре измерения и другие соответствующие компоненты национальной программы контроля радона.

## Трихлорэтилен

Существование в прошлом как позитивных, так и негативных результатов исследований стало причиной противоречивых оценок токсичности трихлорэтилена (ТХЭ) и различных расчетов риска развития рака у человека. Недавние данные по механизму действий, которые не являются видоспецифичными, фактические данные о слабой генотоксичности и

<sup>1</sup> WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. Geneva, World Health Organization, 2009.



наличие связей между определенными видами злокачественных опухолей у животных и у людей (в частности такими, как рак печени) свидетельствуют о канцерогенности для животных и наличии реального риска рака для человека. Ввиду этого предлагаемая рекомендация основана на беспороговом подходе с оценкой степени риска, без установления безопасных предельных значений.

При этом в качестве конечного критерия используют фактор канцерогенности (принимая за факт наличие генотоксичности). В качестве значения, предлагаемого для рекомендаций по качеству воздуха в помещениях, взят удельный риск  $4,3 \times 10^{-7}$  ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ )<sup>-1</sup>, рассчитанный на основе роста частоты опухолей из клеток Лейдига (тестикулярные опухоли) у крыс. Это соответствует выводам ВОЗ, сформулированным в 2000 г., ЕС – в 2004 г. и Французского агентства по гигиене окружающей среды и гигиене труда – в 2009 г.

Концентрации ТХЭ в воздухе, сопряженные с избыточным риском рака в течение жизни в значениях 1/10 000, 1/100 000 и 1/1 000 000 составляют, соответственно, 230, 23 и 2,3  $\text{мкг}/\text{м}^3$ .

### **Тетрахлорэтилен**

Канцерогенность не избрана в качестве конечной точки установления значений, вносимых в рекомендации по тетрачлорэтилену, по трем причинам: эпидемиологические свидетельства неоднозначны; опухоли, обнаруженные у животных, не соотносятся с заболеваниями человека; нет указаний на то, что тетрачлорэтилен обладает генотоксичным эффектом. Определение предельного значения, вносимого в рекомендацию, в настоящее время основано на двух неопухоловых эффектах: нарушение нейроповеденческих функций и ранние изменения в почках.

На основе долгосрочного LOAEL для почечных нарушений при воздействии 102  $\text{мг}/\text{м}^3$  у работников предприятий химической чистки одежды было рассчитано значение 0,25  $\text{мг}/\text{м}^3$ . При вычислении этого значения LOAEL был конвертирован в данные по непрерывному воздействию путем деления на коэффициент 4,2 (168/40) и поделен на фактор неопределенности 100 (10 для использования LOAEL и 10 для внутривидовой вариации). Учитывая некоторую неопределенность LOAEL, поскольку наблюдаемые при данном уровне воздействия эффекты недостаточно четко выражены и уровень воздействия подвержен колебаниям, был рассчитан альтернативный вариант на основе LOAEL для мышей в значении 680  $\text{мг}/\text{м}^3$ , с использованием фактора неопределенности 1000. Эти расчеты дали значение 0,68  $\text{мг}/\text{м}^3$  для включения в рекомендацию.

Агентство США по учету токсических веществ и нарушений здоровья (ATSDR) рассчитало уровень минимального риска при хронической ингаляции (MRL) в значении 0,28  $\text{мг}/\text{м}^3$  (0,04 ppm) на основе LOAEL в значении 15 ppm. При вычислении MRL эта концентрация была скорректирована на непрерывное воздействие (8/24 часа, 5/7 дней) и поделена на фактор неопределенности 100 (10 для использования LOAEL и 10 для внутривидовой вариации для человека). У рабочих, подвергавшихся профессиональному усредненному воздействию тетрачлорэтилена в дозе 15 ppm в течение 10 лет, обнаруживалось значительное замедление времени реакции.

Данное значение и целесообразность установления краткосрочного значения для рекомендации сомнительно, поскольку острые эффекты возникают только при очень высоких концентрациях – 50 ppm (340  $\text{мг}/\text{м}^3$ ) и выше – в сравнении с обычно наблюдаемыми уровнями в непосредственной близости от оборудования для химчистки. Установление долгосрочного значения позволяет более эффективно защитить здоровье человека.

На основе всесторонней оценки риска рекомендуется следующая величина предельного среднегодового воздействия – 0,25  $\text{мг}/\text{м}^3$ . Это соответствует рекомендации предшествующего руководства ВОЗ.

Сводные рекомендации по всем загрязнителям, рассмотренным в этом издании, представлены в таблице А.

**Таблица А. Сводные рекомендации по обеспечению качества воздуха в отношении отдельных загрязнителей**

Загрязнитель	Нарушение здоровья, использованное в качестве определяющего критерия при формулировании рекомендации	Рекомендации	Примечания
Бензол	<ul style="list-style-type: none"> <li>Острый миелоидный лейкоз (достаточные доказательства причинной связи)</li> <li>Генотоксичность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Безопасный уровень воздействия не установлен</li> <li>Удельный риск лейкоза на 1 мкг/м<sup>3</sup> концентрации в воздухе составляет <math>6 \times 10^{-6}</math></li> <li>Концентрации бензола в воздухе, сопряженные с избыточным риском в течение жизни 1/10 000, 1/100 000 и 1/1 000 000 составляют, соответственно, 17, 1,7 и 0,17 мкг/м<sup>3</sup></li> </ul>	
Оксид (монооксид) углерода	Острое снижение (в зависимости от уровня воздействия) толерантности к физической нагрузке и повышение выраженности симптоматики ишемической болезни сердца (например, изменения сегмента ST)	<ul style="list-style-type: none"> <li>15 мин. – 100 мг/м<sup>3</sup></li> <li>1 час – 35 мг/м<sup>3</sup></li> <li>8 час. – 10 мг/м<sup>3</sup></li> <li>24 час. – 7 мг/м<sup>3</sup></li> </ul>	
Формальдегид	Раздражение органов чувств	0,1 мг/м <sup>3</sup> – в среднем за 30 мин.	Данная рекомендация (для любого 30-минутного периода воздействия), также позволяет предупредить нарушения функций легких, а также рак носоглоточной области и миелоидный лейкоз
Нафталин	Поражения дыхательных путей, вызывающие, в исследованиях на животных, воспалительную реакцию и злокачественный рост	0,01 мг/м <sup>3</sup> – в среднем за год	Предполагается, что рекомендация на длительный период воздействия обеспечивает профилактику злокачественных опухолей дыхательных путей
Диоксид азота	Респираторные нарушения, бронхоспазм, повышенные реакции со стороны бронхиального дерева, воспаление дыхательных путей и снижение механизмов иммунной защиты, ведущее к росту восприимчивости к респираторным инфекциям	<ul style="list-style-type: none"> <li>200 мкг/м<sup>3</sup> – в среднем за 1 час</li> <li>40 мкг/м<sup>3</sup> – в среднем за год</li> </ul>	По результатам эпидемиологических исследований, данных о наличии порога воздействия не имеется.
Полициклические ароматические углеводороды	Рак легких	<ul style="list-style-type: none"> <li>Порог воздействия не определяется, любое содержание смесей ПАУ в воздухе помещений рассматривается как влияющее на здоровье</li> </ul>	В качестве маркера смесей ПАУ используется В[а]Р

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Расчетный удельный риск рака легких при воздействии смесей ПАУ составляет <math>8,7 \times 10^{-5}</math> на <math>1 \text{ нг/м}^3</math> содержания В[а]Р</li> <li>• Соответствующие концентрации воздействия В[а]Р на протяжении жизни, вызывающие избыточный риск рака в значениях 1/10 000, 1/100 000 и 1/1 000 000, составляют, соответственно, 1,2, 0,12 и <math>0,012 \text{ нг/м}^3</math>.</li> </ul>	
Радон	Рак легких Предположительные данные о связи с другими видами рака, в частности с лейкозом и раком верхних дыхательных путей	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Избыточный риск смерти от вызванного радоном рака легких в течение жизни (к возрасту 75 лет) составляет для лиц, никогда не куривших, <math>0,6 \times 10^{-5}</math> на каждый Бк/м<sup>3</sup>, для курильщиков (15–24 сигареты в день) – <math>15 \times 10^{-5}</math> на каждый Бк/м<sup>3</sup>; для лиц, куривших в прошлом, значения риска промежуточные, в зависимости от срока с момента отказа от курения</li> <li>• Концентрации радона, сопряженные с избыточным риском в течение жизни 1:100 и 1: 1000 составляют для курильщиков, соответственно 67 и 6,7 Бк/м<sup>3</sup>, для лиц, никогда не куривших, – 1670 и 167 Бк/м<sup>3</sup></li> </ul>	Рекомендации ВОЗ обеспечивают всесторонний подход к управлению рисками для здоровья, связанными с радоном
Трихлорэтилен	Канцерогенный эффект (рак печени, почек, желчных путей, неходжкинская лимфома), предположительно генотоксическое воздействие	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Расчетный удельный риск – <math>4,3 \times 10^{-7}</math> на <math>1 \text{ мкг/м}^3</math></li> <li>• Концентрации трихлорэтилена в воздухе, сопряженные с избыточным риском в течение жизни 1:10 000, 1:100 000 и 1:1 000 000 составляют, соответственно, 230, 23 и <math>2,3 \text{ мкг/м}^3</math></li> </ul>	
Тетрахлорэтилен	Ранние патологические изменения со стороны почек и нарушение нейроповеденческих функций	$0,25 \text{ мг/м}^3$ – в среднем за 1 год	Канцерогенный эффект не используется в качестве определяющего критерия, поскольку нет указаний на генотоксическое действие тетрахлорэтилена и имеется неопределенность в отношении эпидемиологических данных и применимости к человеку данных по канцерогенному воздействию на животных