

Радон. Современные подходы к регулированию радиационной безопасности населения

С.М. Киселев¹, А.М. Маренный², В.В. Романов³

¹ Государственный научный центр Российской Федерации - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

² Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

³ Федеральное медико-биологическое агентство России, Москва, Россия

В настоящее время в Российской Федерации инициирован процесс переработки действующих национальных регулирующих документов (НРБ и ОСПОРБ) в области радиационной безопасности. В связи с этим авторы считают актуальным ознакомить научную общественность с необходимостью внесения в действующие НРБ-99/2009 изменений, касающихся регулирования защиты населения при воздействии природных источников ионизирующего излучения, в первую очередь – радиоактивного газа естественного происхождения – радона. Суть этих изменений связана с необходимостью внедрения в практику регулирования защиты населения от облучения радоном современных подходов, изложенных в Публикациях 103, 115, 126 МКРЗ и «Международных основных нормах безопасности» (ОНБ), опубликованных МАГАТЭ в 2014 г. В этом аспекте представлены конкретные предложения по совершенствованию нормативно-правовой базы регулирования защиты населения при воздействии природных источников ионизирующего излучения, учет которых в перерабатываемых НРБ позволит реализовать в России комплекс мероприятий по снижению облучения населения радоном в свете современных рекомендаций МКРЗ, ВОЗ и МАГАТЭ, а также требований утвержденных Президентом Российской Федерации Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу.

Ключевые слова: НРБ; нормирование, природные источники излучения, радон, торон, эквивалентная равновесная объемная активность, объемная активность, региональный референтный уровень, ситуация существующего облучения, регулирование, МАГАТЭ, МКРЗ, НКДАР ООН.

Введение

Методология регулирования радиационной безопасности населения при воздействии природных источников ионизирующего излучения (ПИИИ) основана на оценках эффектов облучения человека естественной радиацией, а также принципах радиационной защиты от ионизирующего излучения, установленных международной практикой регулирования. Данные положения используются государствами для формирования нормативно-правовой базы обеспечения радиационной безопасности населения при облучении ПИИИ, основной вклад в которое вносят радон и дочерние продукты его распада [1]. При этом учитываются национальные особенности каждой страны, среди которых приоритетное значение имеет оценка масштабов облучаемости населения ПИИИ [2].

В Российской Федерации, согласно информации Федерального банка данных (ФБДОПИ), организованного при НИИ радиационной гигиены имени П.В. Рамзаева, за период 2001–2017 гг. повышенному (свыше 5 мЗв/год)

облучению ПИИИ подвергается население численностью более 7 млн чел., проживающее на территории 6 субъектов РФ [3]. Согласно другой оценке, основанной на более консервативном подходе, эта численность составляет около 2 млн чел. [4]. В 19 субъектах РФ выявлены отдельные группы населения (около 44 тыс. чел.), облучающиеся в дозах свыше 10 мЗв/год [5]. Очевидно, что в соответствии с этими оценками существенная часть населения страны попадает в категорию лиц, имеющих потенциальный риск возникновения канцерогенных эффектов, связанный с воздействием естественной радиации, среди которых радон играет ведущую роль.

Действующая в настоящее время в стране достаточно эффективная система нормативно-методического регулирования в сфере обеспечения радиационной безопасности при облучении ПИИИ [1, 2], в основном, опирается на научные оценки НКДАР ООН, представленные в докладе 1993 г. [6], и Международные основные нормы безопасности МАГАТЭ 1996 г. [7]. Эти документы по сути

Киселев Сергей Михайлович

Государственный научный центр Российской Федерации, Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна Федерального Медико-Биологического Агентства России

Адрес для переписки: 123098, Москва, ул. Живописная, 46. Тел.: +7 (985) 761-10-17; E-mail: sergbio@gmail.com

впервые обозначили важность проблемы обеспечения защиты населения от радона и определили базовый подход к ее регулированию. Позиционированный международным сообществом механизм регулирования радоновой проблемы был поддержан регулирующими органами в разных странах мира и инициировал целый ряд национальных проектов, нацеленных на выявление масштабов проблемы и разработку мероприятий по защите наиболее облучаемых групп населения [2,8]. Методология защиты населения от облучения радоном была постулирована в Публикации 65 МКРЗ [9] и основана на установлении границы между опасным и безопасным воздействием радона, а философия радиационной защиты в целом опиралась на подход, постулированный в Публикации 60 МКРЗ [10].

Вместе с тем, новые научные оценки, выполненные НКДАР ООН [11, 12] по результатам современных эпидемиологических исследований [13–22], показали несовершенство данного подхода и отсутствие четко выраженного порога воздействия радона на организм человека. Базируясь на этих научных данных, а также на новой системе радиационной защиты, постулированной в Публикации 103 МКРЗ [23], был сформулирован современный подход к регулированию радоновой проблемы, который предусматривает решение двух взаимосвязанных ключевых задач: уменьшение как доли лиц, подвергающихся неприемлемо высоким индивидуальным рискам, связанным с радоном (первоочередная задача), так и среднего значения индивидуального радонового риска для всего населения страны (долгосрочная перспектива) [24, 25]. Основываясь на рекомендациях МКРЗ, МАГАТЭ в 2014 г. были изданы «Международные основные нормы безопасности» (ОНБ), в соответствии с которыми (часть 3 ОНБ, Требование 50 «Облучение населения радоном в помещении») правительства государств-членов МАГАТЭ должны предоставить информацию о радоне в помещении и связанных с ним рисках для здоровья, оценить выявленную ситуацию существующего облучения и установить соответствующие референтные уровни (п. 52. Основные стандарты безопасности), а также при необходимости подготовить и внедрить план действий по контролю за облучением населения радоном в помещениях [26].

Механизм совершенствования нормативно-правовой базы регулирования радиационной безопасности населения

Следуя принятой в Российской Федерации практике внедрения международных рекомендаций в отечественные регулирующие документы, логическим шагом является внесение в определенной последовательности указанных изменений в документы всех уровней существующей в стране иерархии нормативно-правовой базы обеспечения радиационной безопасности населения. В первую очередь современные рекомендации международных организаций должны найти отражение в утверждаемых Президентом Российской Федерации Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации. Реализация утвержденных Основ потребует внесения изменений в соответствующие федеральные законы и нормы радиационной безопасности и формирования на этой базе в стране адекватных мер в сфере

обеспечения ядерной и радиационной безопасности, одной из которых является рекомендованный МАГАТЭ план действий [27, 28] по контролю за облучением населения радоном в помещениях, изложенный нами ранее в ряде публикаций [1, 2].

Проблема облучения населения радоном в Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г.

В октябре 2018 г. Президентом Российской Федерации утверждены Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу (далее – Основы). В отличие от предыдущей версии, в утвержденном документе подчеркивается, что Основы являются документом стратегического планирования (такой формулировки в прежних Основах не было).

Относительно радиационной безопасности при облучении населения ПИИИ, в том числе радоном, в документе констатируется, что одной из основных проблем в данной области является «наличие в Российской Федерации групп населения с повышенными и высокими уровнями радиоактивного облучения вследствие воздействия природных радионуклидов». Поэтому в целях государственной политики на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу предусмотрено «уменьшение опасного воздействия радиационных факторов на население, проживающее на территориях с повышенным уровнем естественного радиационного фона».

Кроме того, в Основах определены основные направления деятельности по обеспечению радиационной безопасности населения при облучении естественной радиацией. Это «совершенствование государственного контроля (надзора) за воздействием на здоровье человека ПИИИ, в том числе радона и продуктов его распада, в жилых домах, детских учреждениях, общественных и производственных зданиях» и «поддержание на возможно низком уровне доз облучения населения, подвергающегося воздействию радиационных факторов за счет природных источников излучения, в том числе радона и продуктов его распада». Указанные в Основах направления определяют стратегию планирования мероприятий по совершенствованию нормативно-правовой базы регулирования радиационной безопасности населения при облучении ПИИИ, в том числе природным радиоактивным газом радоном. Ориентируясь на современные рекомендации МКРЗ и стандарты безопасности МАГАТЭ [23, 24, 26–28], следует констатировать, что впервые обозначенное в Основах направление деятельности по поддержанию на возможно низком уровне доз облучения населения при воздействии радона и продуктов его распада связано с решением двух ранее упомянутых взаимосвязанных ключевых задач. Первая – это уменьшение доли лиц, проживающих на радоноопасных территориях и подвергающихся неприемлемо высоким индивидуальным рискам, связанным с радоном, вторая – уменьшение среднего значения индивидуального радонового риска для всего населения страны. Планомерное решение обеих задач позволит достичь конечной цели радоновой

стратегии – снизить заболеваемость и смертность населения от радон-индуцированных раков лёгкого [29–35], доля которых лежит в диапазоне от 3 до 14% от общего числа всех раков лёгкого [13].

Решение этой достаточно амбициозной задачи требует разработки комплекса мероприятий, реализация которых носит, как показывает мировой опыт [36, 37], долгосрочный характер и должна последовательно осуществляться программно-целевым методом на основе современных рекомендаций международных организаций [26–28] с учетом сложившихся в стране социально-экономических условий. Первым шагом в ее решении, определяющим суть и характер мероприятий по снижению облучения населения радоном, должно стать совершенствование отечественной нормативно-правовой базы в данной области. Учитывая, что в настоящее время осуществляется процесс переработки действующего национального регулирующего документа в области радиационной безопасности НРБ-99/2009, представляется актуальным рассмотреть принципиальные изменения, которые, на наш взгляд, необходимо внести в указанный документ.

Предложения по внесению изменений в НРБ. Внедрение ситуационного подхода к радиационной защите

В действующих НРБ-99/2009 положения, касающиеся ограничения облучения населения радоном и его ДПР, предусматривают установление ограничений, выраженных в показателях среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности дочерних продуктов радона и торона в воздухе помещений жилых и общественных зданий. Установление требований не превышения установленной величины по сути определяет необходимость ограничения уровней облучения населения в пределах этих показателей, которые рассматриваются как уровни действия. Представленная в существующих НРБ-99/2009 методология защиты населения от радона опиралась на международные рекомендации МКРЗ (Публикация 65 1993 г.), основой для разработки которых являлись эпидемиологические исследования когорты шахтеров урановых рудников.

Учитывая это, позиционировался подход к регулированию радоновой проблемы, применимый в большей степени к персоналу, нежели к населению. В его основе лежало представление, что воздействие радона ниже установленного «норматива» является безопасным, и меры по снижению содержания радона в помещениях рекомендовались только в случае превышения уровней действия. Вместе с тем, современные результаты эпидемиологических исследований показывают, что не существует известного порога объемной активности (ОА), ниже которого радоновое облучение не представляет никакой опасности, а риск рака легкого возрастает статистически значимо даже при умеренных значениях объемной активности радона в жилых помещениях на уровне 50–100 Бк/м³ [11, 13, 22].

Таким образом, в первую очередь изменения в регулировании радоновой проблемы связаны с внедрением ситуационного подхода к радиационной защите, постулированного МКРЗ в 2007 г. и утвержденного МАГАТЭ в ОНБ 2014 г. [23–26]. В частности, в перерабатываемые НРБ

должно быть внесено понятие о трех ситуациях облучения человека: планового, аварийного и существующего, а также обсуждены механизмы регулирования радиационной безопасности в каждой ситуации облучения.

Облучение населения радоном и дочерними продуктами его распада в эксплуатируемых жилых и общественных учреждениях относится к ситуации существующего облучения. Принципы регулирования данной ситуации облучения базируются на установлении референтных уровней и применении принципа оптимизации при принятии и реализации соответствующих мер защиты. Механизм реализации регулирования ситуации существующего облучения носит итерационный характер. Он заключается в планировании, организации и проведении долгосрочных мероприятий по постепенному уменьшению концентрации радона в жилищах и периодическому пересмотре референтных уровней в сторону их уменьшения [23, 24, 38].

Производственное облучение персонала радоном, не связанное с профессиональной деятельностью, также относится к ситуации существующего облучения. В тех ситуациях, когда работник облучается радоном в результате производственной деятельности, особенности регулирования радиационной безопасности будут определяться отношением к той или иной ситуации облучения (плановой или существующей). Эти вопросы требуют отдельной научной дискуссии и не являются предметом рассмотрения в настоящей статье.

Референтный уровень вместо уровня действия. Региональные референтные уровни

При рассмотрении облучения населения радоном как ситуации существующего облучения, а также учитывая новые научные данные эпидемиологических исследований в этой области, в перерабатываемом документе необходимо установление иных, нежели уровни действия, радиологических критериев, а именно референтных уровней. В отличие от концепции уровней действия, ориентированной на недопущение превышения нормируемой величины и индивидуальных рисков от радона и дочерних продуктов его распада, референтный уровень представляет собой уровень дозы, риска или концентрации радионуклидов, допущение превышения которого при планировании считается неприемлемым, а ниже которого должна осуществляться оптимизация защиты. Следствием применения подхода к регулированию на основе референтного уровня является то, что оптимизация должна применяться как оправданная мера не только при превышении этого уровня, но и в ситуациях, когда фактические уровни ниже референтного. Таким образом, философия референтного уровня определяет основную стратегию современного регулирования радоновой проблемы, которая заключается не только в снижении индивидуальных рисков от радона для наиболее облучаемых лиц, но и в направленности на последовательное снижение общего коллективного риска для всего населения.

Для таких больших стран, как Россия, характерно наличие многих климатических зон, территорий с существенно различающимися геолого-геофизическими условиями [39], а также существенно отличающийся состав жилого фонда и разнообразие преобладающих строительных материалов и технологий. Всё вместе приводит к весьма неоднородному распределению интервала зна-

чений и средних значений объемной активности радона в помещениях населенных пунктов различных регионов России. Средние по субъектам Российской Федерации уровни облучения за счет радона различаются более чем на порядок [1–3, 5].

Поэтому установление в Российской Федерации единого национального референтного уровня (в качестве единственной нормируемой величины), с точки зрения оптимизации защиты, вряд ли является обоснованным. Очевидно, что защита населения от облучения радоном, основанная на установленном едином референтном уровне ОА радона, более эффективна в регионах с высоким уровнем радона и менее эффективна в регионах, в которых вероятность превышения референтного уровня относительно невелика. Вследствие этого цель оптимизации защиты населения от воздействия радона не будет достигнута, так как не приведет к заметному снижению смертности от рака легкого, индуцированного радоном [13].

Принимая во внимание значительные различия регионов РФ по факторам, определяющим содержание радона в зданиях, и по дозовой нагрузке на население, а также с экономической точки зрения, целесообразным и обоснованным является установление региональных референтных уровней, методология установления которых должна быть представлена в документах, развивающих положения основного документа – Норм радиационной безопасности. В частности, установление количественных значений региональных референтных уровней в качестве опорных критериев оптимизации должно основываться на результатах региональных радоновых обследований. Одним из подходов к оптимизации защиты от радона на региональном уровне является рассмотрение в качестве регионального референтного уровня величины ОА радона, соответствующей 90-му перцентилю ОА радона в группе зданий. Такой подход будет обеспечивать снижение доз облучения до реально достижимого уровня. Вместе с тем, в НРБ представляется целесообразным в качестве национального референтного уровня определить верхнюю границу оптимизации, соответствующую значению объемной активности радона при сдаче зданий в эксплуатацию.

Таким образом, внесение предложенных изменений в действующие НРБ-99/2009 является необходимым шагом, определяющим в конечном итоге оптимальный вариант комплекса мероприятий по реализации утвержденных Основ государственной политики в части обеспечения радиационной безопасности населения от воздействия природных источников ионизирующего излучения. Внедрение данной философии регулирования в отношении облучения населения ПИИИ соответствует современным рекомендациям МКРЗ и МАГАТЭ и создает основу для реализации стратегии защиты населения от воздействия естественной радиации, целью которой в долгосрочной перспективе является снижение риска заболеваемости раком легкого.

Выбор нормируемого показателя облучения населения радоном и дочерними продуктами его распада. ЭРОА или ОА?

Одним из основных элементов процесса оптимизации в ситуациях существующего облучения является выбор количественных значений референтных уровней годовой

дозы и/или производных референтных уровней (измеряемых радиационных показателей). Диапазон этих значений, рекомендованных МКРЗ и МАГАТЭ для различных ситуаций существующего облучения, лежит в интервале 1–20 мЗв.

Российская Федерация является одной из немногих стран, в которых нормирование содержания радона в жилищах осуществляется не по объемной активности радона, а по среднегодовой ЭРОА изотопов радона.

С одной стороны, выбор нормируемой величины в показателях ЭРОА является логичным в связи с тем, что непосредственно на человека воздействуют именно короткоживущие дочерние продукты радона, оседающие в респираторном тракте и облучающие ткани легкого. Преимуществом использования ЭРОА радона в нормировании воздействия радона является то, что эта величина напрямую связана с дозой облучения, тогда как при переходе от объемной активности радона к величине эффективной дозы необходимо дополнительно учитывать сдвиг равновесия между радоном и дочерними продуктами.

Однако среднегодовое значение ЭРОА радона практически не может быть впрямую измерено, особенно при широкомасштабных обследованиях существующими техническими средствами измерений. В связи с этим возникает ситуация, когда нормируется величина, которую нельзя измерить непосредственно.

Представляется целесообразным в новой редакции НРБ референтный уровень для жилых и общественных зданий установить, следуя рекомендациям международных организаций, в единицах ОА радона. В пользу этого предложения, помимо известных обоснований такого подхода [13, 24], нужно принять во внимание то обстоятельство, что корректные оценки среднегодовых уровней концентрации радона (а следовательно, и доз облучения радоном) могут быть сделаны только на основании результатов прямых длительных (вплоть до года) измерений средней ОА радона интегральным методом. На это указывается в методических документах и многократно подтверждено в отечественной практике.

Следует подчеркнуть, что идея данного предложения заключается не просто в замене одного показателя на другой. Авторы статьи полагают, что это позволит интенсифицировать практику применения методов интегральной дозиметрии для достоверного определения среднегодовой активности радиоактивного газа в воздухе помещений. По нашему мнению, логика дальнейшего направления совершенствования регулирования защиты населения от радона диктует необходимость развития целевых и более детальных радоновых обследований в «проблемных» регионах, которые удалось выявить, основываясь на многолетнем сборе данных по всей стране в рамках функционирования ЕСКИД. Эти исследования могут быть выполнены с применением методов интегральной дозиметрии, целесообразность применения которой отмечена в Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу. Более того, это формирует идейную основу для формирования современной национальной программы по снижению облучения населения от источников природного облучения.

Наряду с вышеизложенным, при рассмотрении вопроса о нормируемом параметре следует принимать во внимание сложившуюся практику надзора и аппаратно-методическое обеспечение в области защиты населения от природных источников облучения.

Поэтому вопрос о внесении изменений в перерабатываемые НРБ в части использования среднегодовой объемной активности радона в качестве нормируемого показателя является дискуссионным и требует обсуждения в среде специалистов в означенной области. Возможно, оптимальным решением этого вопроса будет установление срока полного перехода на уровень в терминах ОА радона. В течение этого срока должна быть подготовлена соответствующая аппаратно-методическая база и проведено обучение персонала измерительных лабораторий.

Предложения по нормированию торона

Рассматривая процесс внесения изменений в перерабатываемые НРБ в аспекте гармонизации его положений с международными рекомендациями, следует отметить, что Россия остается одной из немногих стран, в которых нормирование облучения радоном и торона основывается на едином нормативе. В настоящее время в нормативных документах, действующих в Российской Федерации, ЭРОА торона входит в качестве слагаемого в нормируемую величину среднегодовой ЭРОА изотопов радона. При этом к величине среднегодовой ЭРОА торона применяется взвешивающий коэффициент 4,6. В значительной степени это дань «традициям» из 1970–1980-х гг., когда торон, наряду с радоном, являлся одним из индикаторов залежей радиоактивных руд.

Вместе с тем, проблема облучения населения торона в помещениях, как правило, рассматривается как второстепенная по отношению к радону. Торон (радионуклид ^{220}Rn) является изотопом радона в цепочке распада ^{232}Th . Период полураспада торона составляет 55 с. По оценкам НКДАР ООН и МКРЗ среднемировой уровень ЭРОА торона составляет 0,3–0,5 Бк/м³. Эффективная доза облучения населения за счет торона и дочерних продуктов в среднем оценивается равной 0,1 мЗв в год.

В соответствии с заключением МКРЗ дозы облучения, обусловленные торонами, обычно (за исключением районов залежей и переработки ториевых руд), не представляют опасности с радиологической точки зрения. В то же время далеко не все лаборатории оснащены современной дорогостоящей аппаратурой для измерения низких, как правило, значений ЭРОА торона. В системе Госстандарта отсутствуют такие элементы, как Государственный специальный эталон объемной активности дочерних продуктов торона. Фактически все измерения ЭРОА торона производятся по метрологически не аттестованным методикам.

При рассмотрении облучения торона как части природного радиационного фона в целях оптимизации радиационной безопасности необходимо учитывать, что ЭРОА торона в помещении практически полностью определяется содержанием материнского ^{232}Th в строительных материалах, использованных при возведении и отделке здания. Мероприятия, направленные на снижение содержания ^{232}Th в строительных материалах и выявление случаев использования торий-содержащих материалов в быту, с большой вероятностью обеспечат оптимизацию защиты от облучения торонами и дочерними продуктами.

Учитывая доводы, приведенные выше, в перерабатываемых НРБ целесообразно установить отдельный нормируемый (референтный) уровень объемной активности радона и рассматривать облучение торона в контексте радиационного контроля строительных материалов. Отметим также, что принятие такого подхода в новой редакции НРБ существенно упростит и удешевит радоновые измерения, особенно при приёмке зданий в эксплуатацию, без потери их достоверности. Соответственно, необходимо будет внести коррективы в методические документы в части измерений содержания торона в помещениях.

Заключение

Реализация Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации, направленная на поддержание на возможно низком уровне доз облучения населения, подвергающегося воздействию радиационных факторов за счет природных источников излучения, требует разработки органами государственной власти комплекса мероприятий, которые носят долгосрочный характер и должны последовательно осуществляться программно-целевым методом на основе современных рекомендаций международных организаций и стандартов безопасности МАГАТЭ. Первым шагом, определяющим суть и характер мероприятий по снижению облучения населения радоном, должно быть совершенствование отечественной нормативно-правовой базы, ориентированной на внедрение новой системы радиационной защиты, постулированной в Публикации 103 МКРЗ и изложенной в Международных основных нормах безопасности МАГАТЭ. Представленные предложения по внесению изменений в перерабатываемые НРБ должны рассматриваться как первый необходимый шаг в реализации комплекса взаимосвязанных мероприятий по защите населения от воздействия ПИИИ (в первую очередь радона). Достижение прогресса в этой области диктует настоятельную необходимость разработки в Российской Федерации долгосрочной федеральной целевой программы, выполнение которой в конечном итоге позволит создать эффективную и действенную систему обеспечения радиационной безопасности населения при воздействии такого естественного источника ионизирующей радиации, как радон.

Принятие предлагаемых предложений при разработке новой редакции НРБ и ОСПОРБ не потребует существенных изменений действующей системы методических документов.

Представленные в работе предложения требуют всестороннего обсуждения в кругу специалистов в области радиационной гигиены. Консолидированное решение данного вопроса позволит заложить основу последовательной реализации комплекса мероприятий по реализации утвержденных Основ и в конечном итоге достичь основной цели радоновой стратегии – снизить заболеваемость и смертность от радон-индуцированного рака легкого.

Литература

1. Киселев, С.М. Обеспечение защиты населения от облучения радоном. Проблемы и пути решения / С.М. Киселев, И.П.

- Стамат, А.М. Маренный, Л.А. Ильин // Гигиена и санитария. – 2018. – Т.97, № 2. – С. 101-110.
2. Киселев, С.М. Радон. От фундаментальных исследований к практике регулирования / С.М. Киселев, М.В. Жуковский, И.П. Стамат, И.В. Ярмошенко. – М: Издательство ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2016. – 400 с.
 3. Барковский, А.Н. Итоги функционирования Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2017 г. / А.Н. Барковский, Р.Р. Ахматдинов, Р.Р. Ахматдинов, Н.К. Барышков, А.М. Библин, А.А. Братилова, В.Е. Журавлева, Т.А. Кормановская, С.И. Кувшинников, И.К. Романович, А.Г. Сивенков, О.Е. Тутельян, А.Г. Цовьянов // Радиационная гигиена. – 2018 – Т. 11, № 4 – С. 98-128.
 4. Маренный, А.М. Оценка облучения населения России радоном (метод и результаты) / А.М. Маренный, М.Н. Савкин, С.М. Шинкарев // Медицинская радиология и медицинская безопасность. – 1999. – Т. 44, №6. – С. 37-43.
 5. Романович, И.К. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия / И.К. Романович, И.П. Стамат, Т.А. Кормановская, Д.В. Кононенко [и др.]; под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. – СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. – 432 с. ISBN 978-5-9906975-7-7.
 6. UNSCEAR, 1993. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. 1993 Report to the general Assembly with scientific annexes, United Nations, New York, 1993.
 7. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources International Atomic Energy Agency, Vienna, Safety Series no. 115, 1996
 8. Tollefsen T., Cinelli G., Bossew P., et al. From the European indoor radon map towards an Atlas of natural radiation. Radiation Protection Dosimetry (2014). Vol. 162, № 1–2, pp. 129–134.
 9. Protection Against Radon–222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2), 1993.
 10. ICRP Publication 60. Radiation protection 1990: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) – New York: Pergamon Press, 1991.
 11. UNSCEAR, 2009. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). UNSCEAR 2006 Report. Annex E. Sources-to-Effects Assessment for Radon in Homes and Workplaces.: United Nations, New York, 2009.
 12. Effect of exposure to radon gas // UNSCER briefing note, 21.07. 2009/- New York: United States, 2009.
 13. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. World Health Organization (WHO). WHO Press, Geneva, 2009.
 14. Жуковский, М.В. Современные подходы к нормированию облучения радоном и анализ последствий их применения в России / М.В. Жуковский, И.В. Ярмошенко, С.М. Киселев // АНРИ. – 2011. – № 4 (67). – С. 18-25.
 15. Survey on radon guidelines programmes and activities. Final report. International radon project. WHO: Geneva, 2007.
 16. Darby S., Hill D., Auvinen A. et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. Br. Med. J. 330(7485): 223, 2005.
 17. Darby S., Hill D., Deo H. et al. Residential radon and lung cancer – detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. Scand. J. Work Environ. Health 32 (Suppl. 1): 1–84, 2006.
 18. Krewski D., Lubin J., Zielinski J.M. et al. Risk of lung cancer in North America associated with residential radon. Epidemiology 16(2): 137–145, 2005.
 19. Krewski D., Lubin J.H., Zielinski J.M. et al. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. J. Toxicol. Environ. Health Part A 69(7–8): 533–598, 2006.
 20. Lubin J.H., Wang Z.Y., Boice Jr. J.D. et al. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. Int. J. Cancer 109(1): 132–137, 2004.
 21. Baysson H. and Tirmarche M. Indoor radon exposure and lung cancer risk: a review of case-control studies. Rev. Epidémiol. Santé Publique 2004, 52(2): 161–171 (In French).
 22. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40 (1), 2010.
 23. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите / пер. с англ., под общей ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
 24. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126, Ann. ICRP 43 (3), 2014.
 25. Киселев, С.М. Эволюция подходов МКРЗ к регулированию защиты населения от радона / С.М. Киселев // Медицинская Радиология и радиационная безопасность. – 2016. – Т. 61, №. 2. – С. 70-74.
 26. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Interim edition. № GSR Part 3, IAEA: Vienna, 2014.
 27. International Atomic Energy Agency. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, SSG 32, IAEA: Vienna, 2014.
 28. National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings: Review of Methodology and Measurement Techniques (IAEA/AQ/33). IAEA: Vienna, 2013.
 29. Публикация 50 МКРЗ. Риск заболевания раком легких в связи с облучением дочерними продуктами распада радона внутри помещений: докл. группы экспертов МКРЗ / Пер. с англ. Л.В. Коломиец. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 105 с.
 30. Глушинский, М.В. Последствия воздействия на организм радона и продуктов его распада / М.В. Глушинский, Э.М. Крисюк // АНРИ. – 1996/97. – № 3(9). – С.16-24.
 31. Ползик, Е.В. Радон и рак / Е.В. Ползик, В.Л. Лежнин, В.С. Казанцев, И.В. Ярмошенко. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 135 с.
 32. Мерзликин, Л.А. Радон как техногенный фактор риска рака легких у работников горнорудного производства / Л.А. Мерзликин, А.М. Маренный, А.Ю. Бушманов // Экологическая безопасность, техногенные риски и устойчивое развитие. Тез. Докладов 13-ой ежегодной конф. Ядерного общества России. – М., 2002. – С. 214-217.
 33. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans: Man-made Fibres and Radon. IARC 43. International Agency for Research on Cancer, Lyon. IARC, 1988.
 34. BEIR, 1999. Health Effects of Exposure to Radon. Committee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR VI). National Academy Press. Washington. 1999.
 35. Hunter N., Muirhead C. R., Bochicchio F., Haylock R. G. Calculation of lifetime lung cancer risks associated with radon exposure, based on various models and exposure scenarios. J. Radiol. Prot. 2015, Vol. 35, No 3, pp. 539–555.
 36. F. Bochicchio. Protection from radon exposure at home and at work in the forthcoming European Basic Safety Standards. International Conference on Protection against Radon at Home and at Work Praha (Czech Rep.), September 2nd-6th, 2013.
 37. Council Directive 2013/59/Euratom, OJ L13, 17.01.2014, P. 1–73.
 38. Balonov M, L Chipiga, S Kiselev, M Sneve, T Yankovich and G Proehl Optimisation of environmental remediation: how to select and use the reference levels. J. Radiol. Prot., 2018 38 (2) 819–830.

39. Маренный, А. М. Закономерности формирования радонного поля в геологической среде / А.М. Маренный, А.А.

Цапалов, П.С. Микляев, Т.Б. Петрова. – М.: Издательство «Перо», 2016. – 394 с.

Поступила: 18.02.2019 г.

Киселев Сергей Михайлович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией регулирующего надзора за объектами ядерного наследия Государственного научного центра Российской Федерации – Федерального медицинского биофизического центра имени А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства России.

Адрес для переписки: 123098, Москва, ул. Живописная, 46. Тел.: +7 (985) 761-10-17; E-mail: sergbio@gmail.com

Маренный Альберт Михайлович – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией природных источников ионизирующих излучений Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Романов Владимир Васильевич – заместитель руководителя Федерального медико-биологического агентства России, главный государственный санитарный врач Федерального медико-биологического агентства России, Москва, Россия

Для цитирования: Киселев С.М., Маренный А.М., Романов В.В. Радон. Современные подходы к регулированию радиационной безопасности населения // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 94-102. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2-94-102

Radon. Advanced regulatory approaches to public radiation protection

Sergey M. Kiselev¹, Albert M. Marennyy², Vladimir V. Romanov³

¹ State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

² Scientific-technical center of the radiation-chemical safety and hygiene of Federal Medico-Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

³ Federal Medico-Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

Currently in the Russian Federation the procedure for revision of the national regulatory documents (Radiation Safety Standards (NRB-99/2009) and Basic Sanitary Rules for Ensuring Radiation Safety (OS-PORB 99/2010) has been initiated. In this regard, the authors consider to discuss with the scientific community the necessity to provide amendments in the current Radiation Safety Standards concerning public radiation protection against natural radiation sources, in particular, radon. The main objective is to provide consistence existing national regulatory requirements with the modern international approaches set out in the ICRP and IAEA documents. In this regard, specific proposals on improvement of the regulatory and legislative framework in this field are presented. This will be the basis for the implementation of national radon mitigation strategy in view of the ICRP, WHO and IAEA recommendations and the requirements of the State policy of the Russian Federation in the field of Nuclear and Radiation Safety.

Key words: NRB-99/2009, regulation, natural radiation sources, radon, thoron, equilibrium equivalent concentration, regional reference level, existing exposure situation, IAEA, ICRP, UNSCEAR, WHO.

References

1. Kiselev S.M., Stamat I.P., Marennyy A.M., Ilyin L.A. Protection of the public from radon exposure. Problems and ways of solution. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and sanitary*, 2018, Vol. 97, No. 2, pp. 101-110. (In Russian).
2. Kiselev S.M., Zhukovsky M.V., Stamat I.P., Yarmoshenko I.V. Radon. From fundamental research to the regulatory practice. Publishing of the GNC FMBC after A.I. Burnazyan, Moscow, 2016, 450 p. (In Russian).

Sergey M. Kiselev

State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency of Russia

Address for correspondence: Zhivopisnaya str, 46, Moscow, 123098, Russia; E-mail: sergbio@gmail.com

3. Barkovsky A.N., Akhmatdinov R.R., Akhmatdinov R.R., Baryshkov N.K., Biblin A.M., Bratilova A.A., Zhuravleva V.E., Kormanovskaya T.A., Kuvshinnikov S.I., Romanovich I.K., Sivenkov A.G., Tutelyan O.E., Tsovyanov A.G. The results of functioning of the Unified System of Individual Dose Control of the Russian Federation citizens based on the 2017 data. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 4, pp.98-128. (In Russian).
4. Marennyy A.M., Savkin M.N., Shinkarev S.M. Assessment of the radon exposure of the public of Russia (method and results). *Meditsinskaya radiologiya i meditsinskaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*, 1999, Vol. 44, No. 6, pp. 37-43 (In Russian).
5. Romanovich I.K., Stamat I.P., Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V. [et.al.] Natural sources of ionizing exposure: doses, radiation risks, prophylactic measures .Ed. By academic of RAS G.G. Onishenko and prof. A.Yu. Popova. Saint-Petersburg, FBUN NIIRG after P.V. Ramzaev, 2018, 432 p. (In Russian)
6. UNSCEAR, 1993. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. 1993 Report to the general Assembly with scientific annexes, United Nations, New York, 1993.
7. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources International Atomic Energy Agency, Vienna, Safety Series no. 115, 1996
8. Tollefsen T., Cinelli G., Bossew P. [et al.] From the European indoor radon map towards an Atlas of natural radiation. *Radiation Protection Dosimetry* (2014). Vol. 162, № 1–2, pp. 129–134.
9. Protection Against Radon–222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2), 1993.
10. ICRP Publication 60. Radiation protection 1990: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) – New York: Pergamon Press, 1991.
11. UNSCEAR, 2009. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). UNSCEAR 2006 Report. Annex E. Sources-to-Effects Assessment for Radon in Homes and Workplaces.: United Nations, New York, 2009.
12. Effect of exposure to radon gas // UNSCER briefing note, 21.07. 2009/- New York: United States, 2009.
13. Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. World Health Organization (WHO). WHO Press, Geneva, 2009.
14. Zhukovsky M.V., Yarmoshenko I.V., Kiselev S.M. Modern approaches to the regulation of the radon exposure and analysis of the consequences of their application in Russia. ANRI = ANRI, 2011, No. 4 (67), pp. 18-25. (In Russian).
15. Survey on radon guidelines programmes and activities. Final report. International radon project. WHO: Geneva, 2007.
16. Darby S., Hill D., Auvinen A. [et al.] Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *Br. Med. J.* 330(7485): 223, 2005.
17. Darby S., Hill D., Deo H. [et al.] Residential radon and lung cancer — detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. *Scand. J. Work Environ. Health* 32 (Suppl. 1): 1–84, 2006.
18. Krewski D., Lubin J., Zielinski J.M. et al. Risk of lung cancer in North America associated with residential radon. *Epidemiology* 16(2): 137–145, 2005.
19. Krewski D., Lubin J.H., Zielinski J.M. et al. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. *J. Toxicol. Environ. Health Part A* 69(7–8): 533–598, 2006.
20. Lubin J.H., Wang Z.Y., Boice Jr. J.D. et al. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. *Int. J. Cancer* 109(1): 132–137, 2004.
21. Baysson H. and Tirmarche M. Indoor radon exposure and lung cancer risk: a review of case-control studies. *Rev. Epidémiol. Santé Publique* 52(2): 161–171. (In French), 2004.
22. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP, 2010, 40 (1).
23. ICRP. 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4), 2007 (in Russian).
24. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126, Ann. ICRP, 2014, 43 (3).
25. Kiselev S.M. Evolution of the ICRP approaches to the regulation of the protection of the public from radon. *Meditsinskaya Radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*, 2016, Vol. 61, No. 2, pp. 70-74. (In Russian).
26. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Interim edition. № GSR Part 3, IAEA: Vienna, 2014.
27. International Atomic Energy Agency. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation, SSG 32, IAEA: Vienna, 2014.
28. National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings: Review of Methodology and Measurement Techniques (IAEA/AQ/33). IAEA: Vienna, 2013.
29. Lung Cancer Risk from Exposures to Radon Daughters. ICRP Publication 50. Ann. ICRP 17 (1). Translated by L.V. Kolomiets. Moscow, Energoatomizdat, 1992, 105 p. (In Russian).
30. Glushinsky M.V., Krisyuk E.M. Consequences of the exposure of the body by the radon and its daughter products. ANRI = ANRI, 1996/97, No. 3(9), pp. 16-24. (In Russian).
31. Polzik E.V., Lezhnin V.L., Kazantsev V.S., Yarmoshenko I.V. Radon and cancer. Ekaterinburg. UrO RAN, 2008, 135 p. (In Russian).
32. Merzlikin L.A., Marennyy A.M., Bushmanov A.Yu. Radon as a man-made lung cancer risk factor for the mining workers. Ecological safety, technogenic risks and stable development. Proceedings of the 13th annual conference of the Nuclear Society of Russia. Moscow, 2002, pp. 214-217 (In Russian).
33. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans: Man-made Fibres and Radon. IARC 43. International Agency for Research on Cancer, Lyon. IARC, 1988.
34. BEIR, 1999. Health Effects of Exposure to Radon. Committee on Health Risks of Exposure to Radon (BEIR VI). National Academy Press. Washington. 1999.
35. Hunter N., Muirhead C. R., Bochicchio F., Haylock R. G. Calculation of lifetime lung cancer risks associated with radon exposure, based on various models and exposure scenarios. *J. Radiol. Prot.*, 2015, Vol. 35, No 3, P. 539–555.
36. F. Bochicchio. Protection from radon exposure at home and at work in the forthcoming European Basic Safety Standards. International Conference on Protection against Radon at Home and at Work Praha (Czech Rep.), September 2nd–6th, 2013.
37. Council Directive 2013/59/Euratom, OJ L13, 17.01.2014, P. 1 –73.
38. Balonov M., L Chipiga, S Kiselev, M Sneve, T Yankovich and G Proehl Optimisation of environmental remediation: how to select and use the reference levels. *J. Radiol. Prot.*, 2018 38 (2) 819–830,.
39. Marennyy A.M., Tsapalov A.A., Miklyaev P.S., Petrova T.B. Trends of the development of the radon field in a geological environment. Moscow, “Pero” Publishing, 2016, 394 p. (In Russian).

Received: February 18, 2019

For correspondence: Sergey M. Kiselev – Ph.D.in biol., Head of laboratory on regulatory supervision of nuclear legacy sites, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency (Zhivopisnaya ul., 46, Moscow, 123098, Russia; E-mail: sergbio@gmail.com)

Albert M. Marennyy – Ph.D. in phys. and math., Chief of laboratory on natural radiation sources, Scientific-technical center of the radiation-chemical safety and hygiene of Federal Medico-Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

Vladimir V. Romanov – Deputy Head, Federal Medical Biological Agency, Chief Medical Officer of the Federal Medico-Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

For citation: Kiselev S.M., Marennyy A.M., Romanov V.V Radon. Advanced regulatory approaches to public radiation protection. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 2, pp.94-102. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2-94-102