

## Ограничение облучения населения за счет природных источников излучения в зданиях: проект новых стандартов безопасности МАГАТЭ

И.П. Стамат

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург

*В статье приводится анализ основных ожидаемых изменений в нормировании природного облучения населения в связи с публикацией нового стандарта МАГАТЭ «Защита населения от природных источников излучения в зданиях».*

*Ключевые слова: природные источники излучения, изотопы радона, короткоживущие дочерние продукты радона и торона, мощность дозы гамма-излучения, природные радионуклиды, строительные материалы, облицовочные изделия.*

Чуть более 10 лет назад был опубликован Доклад НК ДАР ООН [1], в котором дан полный и всесторонний анализ природных источников ионизирующего излучения за последние десятилетия, приведены новые сведения о дозах облучения населения за счет всех природных источников излучения. В статье [2], посвященной анализу основных положений этого доклада и его значения для радиационно-гигиенической науки, Э.М. Крисюк обратил внимание на принципиальные изменения в нормировании природного облучения населения, которые последуют после его публикации. Одним из основных таких изменений явился пересмотр дозовых коэффициентов для изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада (ДПР) в сторону увеличения примерно в полтора раза.

В 2012 г. закончилась работа по подготовке принципиально нового документа МАГАТЭ, который имеет статус стандарта – «Защита населения от природных источников излучения в зданиях» (DS421) [3]. Очевидно, что выход такого документа в ранге стандарта безопасности МАГАТЭ является важнейшей вехой в системе нормирования радиационной безопасности населения при облучении природными источниками излучения. Это тем более важно в преддверии выхода в свет новой редакции основных стандартов безопасности МАГАТЭ, работа над которой также заканчивается в ближайшее время [4]. Поэтому интересно проследить, какие наиболее серьезные изменения в нормировании природного облучения населения можно ожидать после выхода этих документов.

На наш взгляд, в первую очередь следует отметить сам ранг документа [3] – стандарт безопасности МАГАТЭ. И хотя приведенные в нем референтные уровни воздействия основных природных источников излучения на население в зданиях являются рекомендуемыми, ясно, что национальными органами регулирования они будут восприниматься как уровень хорошей практики. Кроме того, в данном стандарте впервые прямо приведены референтные уровни не только по объемной активности (ОА) радона в воздухе зданий, но и по содержанию природных радионуклидов в строительном сырье и материалах, а также в облицовочных изделиях.

К тому же при обсуждении референтного уровня по ОА радона в воздухе зданий в проекте документа указано, что при характерных для жилых домов значениях радиоактивного равновесия между радонам и его ДПР этому референтному уровню соответствует годовая эффективная доза облучения населения около 10 мЗв при длительности облучения в течение года 7000 часов.

К сожалению, как и в публикациях МКРЗ, составители стандарта безопасности МАГАТЭ тщательно избегают прямых определений, в частности, дозового коэффициента для ингаляционного поступления изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе. Косвенно эта величина приведена в проекте документа: «Объемная активность радона 300 Бк/м<sup>3</sup> при коэффициенте равновесия 0,4 и длительности нахождения людей в жилых домах 7000 часов приводит к годовой эффективной дозе их облучения около 10 мЗв». Конечно, при желании из этого определения легко может быть получено значение дозового коэффициента, однако более корректным было бы его прямое определение без всяких условностей, например, в такой форме: «Экспозиция за счет <sup>222</sup>Rn и его короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе жилых домов в 1 Бк·м<sup>-3</sup>·ч<sup>-1</sup> в единицах эквивалентной равновесной объемной активности радона соответствует годовой эффективной дозе облучения взрослого населения  $d_{Rn} = 11,9$  мкЗв».

При таком определении дозового коэффициента все становится гораздо проще и яснее, поскольку все исходные данные для расчета доз облучения взрослого населения подлежат определению: длительность экспозиции или пребывания людей в зданиях, коэффициент равновесия и т.д. Тогда приведенные в проекте данные (7000 час, 300 Бк/м<sup>3</sup> и т.д.) становятся просто справочными или вспомогательными. Кроме того, при прямом определении численного значения дозового коэффициента будет ясно, что установление референтного уровня по ОА или ЭРОА радона в воздухе жилых домов ведется по взрослому населению.

Если ввести определение дозового коэффициента в предлагаемой форме, то национальным органам управления станет легче определять уровни приемлемого риска при облучении людей радонам в жилых домах, что

рекомендуется в п. 3.33 проекта документа. Останется только рассчитать эти риски и установить их приемлемый уровень с учетом региональных или национальных особенностей в данном регионе или стране, на что указано в пунктах 3.33–3.36 проекта документа.

В проекте стандарта безопасности МАГАТЭ [3] отмечается, что проблема контроля и оценки доз облучения населения за счет содержания торона ( $^{220}\text{Rn}$ ) в воздухе жилых домов по сравнению с  $^{222}\text{Rn}$  имеет значительные сложности, прежде всего измерительного характера, поскольку объемная активность  $^{220}\text{Rn}$  не является корректной характеристикой доз облучения людей. В проекте документа отмечается, что ОА  $^{220}\text{Rn}$  на расстоянии более 1 м от эманлирующей поверхности ограждающих конструкций (стен, полов и потолков) помещений примерно в 100 раз меньше, чем вблизи от нее. Поэтому справедливо указывается, что в таких случаях следует контролировать эквивалентную равновесную объемную активность торона в воздухе. В то же время в проекте документа нет указания на величину дозового коэффициента при облучении населения короткоживущими дочерними продуктами распада  $^{220}\text{Rn}$  в воздухе зданий. Без этого рекомендации документа по установлению уровней регулирования для содержания  $^{220}\text{Rn}$  в воздухе зданий, где в этом есть необходимость, оказываются просто несостоятельными. На наш взгляд, определение дозового коэффициента для  $^{220}\text{Rn}$  в воздухе жилых домов можно дать аналогично тому, как это приведено выше для  $^{222}\text{Rn}$ : «Экспозиция за счет  $^{220}\text{Rn}$  и его короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе жилых домов в  $1 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{ч}^{-1}$  в единицах эквивалентной равновесной объемной активности соответствует годовой эффективной дозе облучения взрослого населения  $d_{\text{Rn}} = 52,8 \text{ мкЗв}$ ».

При расчете указанного значения дозового коэффициента для  $^{220}\text{Rn}$  нами принято соотношение дозовых коэффициентов для  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{222}\text{Rn}$ , равное 4,44, которое приведено в Докладе НК ДАР ООН за 2000 г. [1]. Если же принять, на наш взгляд, более обоснованное с точки зрения дозиметрической модели легких значение относительного коэффициента 4,6, которое использовано и в НРБ-99/2009, то эта величина окажется несколько больше – 54,3 мкЗв. Хотелось надеяться, что окончательное значение отношения дозовых коэффициентов для  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{222}\text{Rn}$  и их короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе можно будет получить после выхода в свет международных основных норм безопасности [4].

Однако уже можно с уверенностью говорить о том, что по сравнению с Докладом НК ДАР ООН за 2000 г. [1] в новом стандарте МАГАТЭ [3] значения дозовых коэффициентов для изотопов радона в очередной раз будут пересмотрены в сторону их увеличения. Это увеличение составит примерно 30%, и с учетом того, что в целом по стране вклад изотопов радона в суммарные дозы природного облучения населения составляет около 1,97 мЗв/год [5], годовые эффективные дозы природного облучения населения автоматически возрастут в среднем чуть более чем на 0,6 мЗв.

Таким образом, за последнее десятилетие по мере получения все новых эпидемиологических данных дозовые коэффициенты для изотопов радона постоянно пересматриваются в сторону их увеличения.

Для ограничения внешнего облучения населения в зданиях за счет содержания природных радионуклидов

в строительном сырье и материалах в стандарте МАГАТЭ [3] предлагается использовать индекс относительной природной радиоактивности, определяемый по формуле:

$$I = \frac{C_{\text{Ra}}}{300} + \frac{C_{\text{Th}}}{200} + \frac{C_{\text{K}}}{3000} \quad (1)$$

где  $C_{\text{Ra}}$ ,  $C_{\text{Th}}$  и  $C_{\text{K}}$  – удельная активность  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  в сырье соответственно, Бк/кг.

Используя соотношение (1), далее в [3] рассматриваются два референтных уровня для содержания природных радионуклидов:  $I \leq 1$  для строительного сырья и материалов и  $I \leq 6$  для облицовочных изделий. Эти значения индекса  $I$  соответствуют удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в этих материалах на уровне 300 и 1800 Бк/кг соответственно. Очевидно, что в традиционном определении величины «эффективная удельная активность природных радионуклидов» ( $A_{\text{эфф}}$ ) эти значения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в точности соответствуют значениям  $A_{\text{эфф}}$ , равным 300 и 1800 Бк/кг.

В пояснениях к формуле (1) в явном виде не указано, что активность  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в ней должна быть приведена для условий радиоактивного равновесия этих радионуклидов со всеми своими дочерними продуктами распада. В этом нет необходимости, если при контроле строительного сырья и материалов удельная активность  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в них определяется прямо: в этом случае полученные значения индекса  $I$  и величины  $A_{\text{эфф}}$  являются максимальными.

Однако при отсутствии радиоактивного равновесия, когда измерения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в материалах проводятся не по материнским радионуклидам, а по их дочерним продуктам, возможна значительная недооценка внешнего гамма-излучения строительных материалов в последующем, когда здание будет построено, и  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  постепенно придут в равновесие со своими дочерними продуктами распада. Конечно, когда речь идет о природных строительных материалах, в которых вековое равновесие в рядах урана и тория, как правило, нарушено незначительно, это требование несущественно. Однако при использовании в строительстве производственных отходов различных отраслей промышленности оно приобретает исключительно важное значение, поскольку для этих сред обычным является резкое нарушение радиоактивного равновесия в рядах  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  [6].

Отметим, что до сих пор соотношение (1) использовалось при нормировании строительных материалов в основном в европейских странах [7], теперь это фактически становится общим подходом. Нетрудно видеть, что формула для индекса  $I$ , по сути, мало отличается от используемой в НРБ-99/2009 формулы для расчета величины  $A_{\text{эфф}}$ , которая впервые была предложена Э.М. Крисиюком и соавт. еще в 1979 г. [8, 9]. Если в формуле для  $A_{\text{эфф}}$  в определении НРБ-99/2009 в качестве нормативного значения принять 300 Бк/кг, то в относительных величинах она примет следующий вид:

$$I_{\text{НРБ}} = \frac{C_{\text{Ra}}}{300} + \frac{1,3 \cdot C_{\text{Th}}}{300} + \frac{0,9 \cdot C_{\text{K}}}{3000} \quad (2)$$

Следуя философии нормирования данного показателя в НРБ-99/2009, после формулы (2) в этом случае должно быть требование пересчета активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  на условие радиоактивного равновесия со своими продук-

тами распада. Строго говоря, только при этом условии индекс  $I_{НРБ}$  является интегральной характеристикой мощности дозы внешнего гамма-излучения строительных материалов, содержащих природные радионуклиды рядов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ , а также  $^{40}\text{K}$  в произвольном соотношении.

С определенными оговорками формула (1) также определяет аналогичный индекс мощности дозы гамма-излучения строительных материалов, но со значительным запасом. Однако из сравнения формул (1) и (2) следует, что в этом случае более корректным является несколько меньший коэффициент, учитывающий вклад изотопов  $^{232}\text{Th}$  во внешнее гамма-излучение строительных материалов: в ней вместо коэффициента  $1/200$  физически более обоснованным является величина  $1/230$ . Аналогично для коэффициента, учитывающего вклад  $^{40}\text{K}$  во внешнее гамма-излучение строительных материалов, более строгим является значение  $1/3300$ . Хотя в проекте стандарта об этом не сказано, вероятнее всего, его составители отдали предпочтение первому значению коэффициента в силу принятых правил округления. Заметим, что округление числовых данных в документах международных организаций достаточно широко распространено, однако, на наш взгляд, не всегда оправдано. Примеры и последствия такого округления достойны того, чтобы стать предметом отдельного рассмотрения.

Нетрудно видеть, что в данном случае округление числовых значений коэффициентов приводит к завышению вклада  $^{232}\text{Th}$  во внешнее излучение строительных материалов примерно на 15%, а  $^{40}\text{K}$  – примерно на 11%. С одной стороны, это можно только приветствовать, поскольку нормирование эффективной удельной активности природных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) в строительных материалах в соответствии с формулой (1) является достаточно консервативным и способствует снижению внешнего облучения населения в зданиях.

Однако на практике референтный уровень  $I \leq 1$  по формуле (1) соответствует значению этой величины (и соответственно, величины  $A_{эфф}$ ) на уровне до 225 Бк/кг, который фактически нереален для большей части месторождений природного строительного сырья не только в нашей стране, но и во многих зарубежных странах. Применение же производственных отходов предприятий добывающих и перерабатывающих отраслей промышленности в качестве строительного сырья при этом становится практически неприемлемым.

С точки зрения ограничения внешнего облучения населения за счет содержания природных радионуклидов в строительном сырье и материалах, физически строгим является определение величины  $A_{эфф}$  в той форме, которая впервые была установлена в [10] и в последующем сохранилась во всех Российских нормах радиационной безопасности, в том числе и в НРБ-99/2009 [11]. Величина  $A_{эфф}$  в определении НРБ-99/2009 строго учитывает вклад всех гамма-излучающих радионуклидов природных рядов  $^{238}\text{U}$  ( $^{226}\text{Ra}$ ) и  $^{232}\text{Th}$  при условии радиоактивного равновесия их со всеми своими дочерними продуктами, а также  $^{40}\text{K}$ .

Формулу (1) в проекте стандарта МАГАТЭ предложено использовать также при контроле содержания природных радионуклидов в облицовочных изделиях. На наш взгляд, исключительно положительной оценки заслуживает то, что в проекте документа эти изделия выделены в отдель-

ный класс и для них рекомендован отдельный референтный уровень по величине интегрального индекса  $I$ , как это ранее было сделано в НРБ-99/2009. Однако при рекомендуемом значении этого индекса  $I = 6$ , что соответствует значению  $A_{эфф}$  около 1800 Бк/кг, и толщине облицовочных изделий 3–5 см мощность дозы гамма-излучения даже при облицовке, например, пола в помещениях достаточно больших размеров может достигать значений почти 0,7 мЗв/ч. Естественно, что при внутренней облицовке полов и стен мощность дозы гамма-излучения в помещениях будет значительно выше. Очевидно, что в этом случае дозы внешнего облучения людей в зданиях окажутся значительно выше среднемирового уровня 0,41 мЗв/год, который приведен в проекте документа.

Как показано в [12, 13], для облицовочных изделий более приемлемым является значение  $I \leq 3$ , которое соответствует значению  $A_{эфф}$  в них не выше 900 Бк/кг. Примерно такой же рекомендуемый уровень показателя обоснован и в работе [14]. При таком содержании природных радионуклидов в облицовочных изделиях дополнительная доза облучения населения в зданиях не превысит 0,1 мЗв/год. Отметим, что рекомендуемые значения индекса  $I=1$  для строительных изделий и материалов и  $I=6$  для облицовочных изделий в проекте стандарта МАГАТЭ выведены, исходя из того, что годовая доза внешнего облучения населения в зданиях при этом не превысит 1 мЗв.

Как указано выше, величина индекса  $I$  в проекте стандарта МАГАТЭ и принятая в нашей стране величина  $A_{эфф}$  с разной степенью корректности определяют мощность дозы внешнего гамма-излучения строительных материалов, содержащих природные радионуклиды рядов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ , а также  $^{40}\text{K}$  в произвольном соотношении. Однако, кроме внешнего гамма-излучения, эти материалы в некоторых случаях могут также достаточно интенсивно эманировать изотопы радона и торона, которые будут поступать в воздух помещений. Это является особо актуальным, когда речь идет о глазурованных керамических изделиях для облицовки помещений, в которых основная активность  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  сосредоточена в тонком слое на лицевой поверхности этих изделий. Учитывая это, было бы целесообразным привести хотя бы в самом общем виде рекомендации по ограничению содержания природных радионуклидов в облицовочных изделиях не только по величине интегрального индекса  $I$ , определяющего уровни внешнего облучения населения в зданиях, но и максимальной удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в них.

Это тем более важно, если референтный уровень интегрального индекса  $I$  для этих изделий принять на уровне, соответствующем  $A_{эфф}$  примерно 1800 Бк/кг. В таких случаях на долю  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в этих изделиях будет приходиться примерно 80–90% от величины  $A_{эфф}$ , так что даже при низких уровнях экскаляции изотопов радона из этих изделий интенсивность поступления их в воздух помещений может быть значительной.

Таким образом, публикация окончательных редакций международных основных стандартов безопасности и нового стандарта МАГАТЭ по защите населения от облучения природными источниками ионизирующего излучения в зданиях неизбежно приведет к постепенному переосмыслению и пересмотру национальных подходов в нормировании природного облучения населения.

Естественно, что в первую очередь это коснется нормирования содержания изотопов радона в воздухе жилых домов. Поскольку рекомендуемый референтный уровень по величине ЭРОА изотопов радона 120 Бк/м<sup>3</sup> соответствует годовой эффективной дозе облучения населения за счет этого фактора в жилых домах на уровне 10 мЗв, то очевидно, что он не может быть рекомендован к применению одновременно для эксплуатируемых и строящихся зданий. По-видимому, потребуются в первую очередь рассматривать практические возможности снижения данного норматива для жилых и общественных зданий, вводимых в эксплуатацию после окончания строительства, капитального ремонта и реконструкции.

При этом нам представляется нецелесообразным рассматривать возможность значительного увеличения допустимого содержания природных радионуклидов в изделиях для облицовки зданий, которое принято в нашей стране. Как сказано выше, оно представляется более обоснованным с точки зрения разумных ограничений облучения населения природными источниками излучения.

### Литература

- 1 UNSCEAR UN. Sources and Effects of Ionizing Radiation. // United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000: Report to the General Assembly UN.– New York: United Nations, 2000.– V. I. – 654 p., V. II. – 566 p.
- 2 Крисюк, Э.М. Уровни и последствия облучения населения / Э.М. Крисюк // АНРИ. – 2002. – № 1 (28). – С. 4–13.
- 3 IAEA SAFETY STANDARDS for protecting people and the environment. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Natural Sources of Radiation. Draft Safety Guide No. DS421. – Vienna, April 2012. – 92 p.
- 4 Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № GSR Part 3 (Interim). Радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности / Промежуточное издание. – Вена: МАГАТЭ, 2011. – 329 с.
- 5 Барышков, Н.К. Информационный сборник «Дозы облучения населения Российской Федерации за 2011 год» / Н.К. Барышков [и др.]. – СПб.: АРКУШ, 2012. – 63 с.
- 6 Лисаченко, Э.П. Природные радионуклиды в производственных отходах неурановой отрасли (обзор) / Э.П. Лисаченко, И.П. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 2. – С. 64–71.
- 7 EUROPEAN COMMISSION. Radiation Protection 112, Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials. Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection. EC, Luxembourg, 1999. – 16 p.
- 8 Карпов, В.И. Фотонное излучение естественных радионуклидов / В.И. Карпов, Э.М. Крисюк. – М.: Издание НКРЗ 79-14, 1979. – 18 с.
- 9 Крисюк, Э.М. Радиационный фон помещений / Э.М. Крисюк – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.
- 10 Ограничение облучения населения от природных источников ионизирующего излучения. Временные критерии для принятия решения и организации контроля № 43-10/796 от 5.12.1990 г. – М.: Министерство здравоохранения России, 1990. – 18 с.
- 11 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09): утв. И введены в действие от 07.08.2009 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
- 12 Стамат, И.П. К обоснованию нормативов по содержанию природных радионуклидов в облицовочных изделиях и материалах / И.П. Стамат, Д.И. Стамат // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 1. – С. 46–51.
- 13 Стамат, И.П. Оценка вклада эманирования радона с поверхности облицовочных изделий в облучение населения / И.П. Стамат [и др.] // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2, № 4. – С. 16–22.
- 14 Yahong, M. Physical Models and Limits of Radionuclides for decorative building Materials / M. Yahong [et al.] // Health Phys. – 2006. – V. 90, № 5. – P. 471–475.

### I.P. Stamat

#### Limitation of population exposure indoors due to natural irradiation sources: IAEA new safety standards project

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Saint-Petersburg

*Abstract. An article contains the analysis of the main expected changes in the setting standards of population exposure from natural sources in connection with the publication of the new IAEA standard «Protection of the Public against Exposure Indoors due to Natural Sources of Radiation».*

*Key words: natural irradiation sources, radon isotopes, short-living daughter products of radon and thoron, dose rate, natural radionuclides, building materials, facing products.*

Поступила: 21.02.2013 г.

И.П. Стамат  
E-mail: istamat@mail.ru