

Оценка вклада эманирования радона с поверхности облицовочных изделий в облучение населения*

И.П. Стамат¹, А.В. Световидов¹, Д.И. Стамат², Г.А. Горский³, В.А. Венков¹

¹ ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

³ Управление Роспотребнадзора по городу Санкт-Петербургу, Санкт-Петербург

В статье рассматриваются вопросы, связанные с совершенствованием нормативно-правового обеспечения радиационной безопасности населения при воздействии природных источников излучения. Приведены результаты экспериментальных исследований вклада эманирования радона из облицовочных изделий в облучение населения. Показано, что установление норматива по содержанию природных радионуклидов в облицовочных изделиях может быть основано только на ограничении внешнего излучения содержащихся в них природных радионуклидов.

Ключевые слова: природные источники излучения, природные радионуклиды, изотопы радона, облицовочные изделия и материалы, мощность дозы гамма-излучения, эффективная доза облучения природными источниками излучения.

Введение

В [1] приведено подробное обоснование необходимости введения специальных нормативов по содержанию природных радионуклидов в облицовочных изделиях и материалах. На основе теоретических расчетов и экспериментальных исследований показано, что применение этих изделий может привести к дополнительной дозе природного облучения населения в производственных и коммунальных условиях не более 0,1 мЗв/год, если эффективная удельная активность природных радионуклидов в них не превысит 740 Бк/кг. Эта величина получена в предположении, что эманирование изотопов радона из облицовочных изделий невелико, так что вкладом ингаляционного поступления изотопов радона с вдыхаемым воздухом в облучение людей можно пренебречь.

Целью настоящей статьи являлась экспериментальная проверка корректности этого предположения, поскольку она основана только на небольшом количестве литературных данных [2, 3, 4]. Для этого нами разработана математическая модель и собрана экспериментальная установка для определения плотности потока радона (ППР) с поверхности облицовочных изделий. Отметим, что плотность потока радона с поверхности керамических и керамогранитных изделий характеризуется значениями на несколько порядков ниже, чем его значения для почв и грунтов [2, 4], поэтому существующие методы определения ППР [5, 6 и др.] в данном случае просто неприменимы из-за низкой чувствительности.

Материалы и методы

Для определения плотности потока радона с поверхности облицовочных изделий нами использована стальная емкость специальной конструкции, внутрь которой помещалось определенное число изделий с известными га-

баритами (площадью и объемом), после чего емкость герметично закрывалась. Установка включает саму емкость, систему ее прокачки очищенным от радона воздухом, систему перемешивания воздуха в емкости и систему дозированного отбора проб воздуха из нее (рис. 1).



Рис. 1. Установка для определения плотности потока радона с поверхности облицовочных изделий в лабораторных условиях

После герметизации емкости она интенсивно проветривалась воздухом, который для очистки от радона перед подачей в емкость пропускался через адсорбер объемом около 1 дм³, заполненный очищенным активированным углем марки СКТ-2М. Затем внутри емкости включался вентилятор для медленного перемешивания воздуха и, не позднее чем через 1 час, из нее отбиралась проба воздуха для определения начального значения объемной активности радона в воздухе. Далее через определенные промежутки времени из емкости отбирались пробы воздуха для опре-

* Результаты экспериментальных исследований, использованные при подготовке настоящей статьи, получены в рамках работ, выполненных ФГУН НИИРГ по ФЦП «Ядерная и радиационная безопасность России».

деления динамики изменения объемной активности радона в воздухе емкости.

Можно показать, что при постоянной плотности потока радона с поверхности облицовочных изделий динамика изменения объемной активности радона в воздухе емкости описывается уравнением:

$$\frac{dC(\tau)}{d\tau} = \frac{S \cdot R}{V_0} - \lambda \cdot C(\tau), \quad (1)$$

где $C(\tau)$ – объемная активность радона в воздухе емкости (Бк/м³) в момент времени τ , час;

S – суммарная площадь эманулирующей поверхности керамических изделий в емкости, м²;

R – плотность потока радона с поверхности изделий, Бк/(м²·с);

V_0 – объем герметичной стальной емкости за вычетом объема изделий, м³;

$\lambda = 0,693/T$ – постоянная распада радона, а период полураспада ²²²Rn (T) принят равным $T=3,30 \cdot 10^5$ с.

Решение уравнения (1) при начальном условии $C(\tau=0) = C_0$ имеет следующий вид:

$$C(\tau) = \frac{S \cdot R}{\lambda \cdot V_0} [1 - \exp(-\lambda \cdot \tau)] + C_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot \tau), \quad \text{Бк/м}^3, \quad (2)$$

из которого далее получено расчетное выражение для определения плотности потока радона с поверхности изделий:

$$R = \frac{\lambda \cdot V_0 \cdot C(\tau) - C_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot \tau)}{S \cdot [1 - \exp(-\lambda \cdot \tau)]}, \quad \text{Бк/(м}^2 \cdot \text{с)}. \quad (3)$$

Это выражение в последующем использовано для определения плотности потока радона с поверхности облицовочных изделий в лабораторных условиях с учетом динамики накопления радона в воздухе емкости.

Второй вариант определения плотности потока радона с поверхности облицовочных изделий основан на определении максимального значения объемной активности радона в воздухе емкости в стационарных условиях с последующим расчетом значения ППР.

Нетрудно увидеть, что для стационарных условий, когда $\tau \rightarrow \infty$, выражение (3) для расчета значения ППР приобретает вид:

$$R = \frac{\lambda \cdot V_0}{S} \cdot C(\tau = \infty), \quad \text{Бк/(м}^2 \cdot \text{с)}, \quad (4)$$

в котором максимальное значение объемной активности радона в воздухе емкости $C(\tau = \infty)$ должно определяться не ранее чем через месяц после герметизации емкости.

Этот вариант определения существенно проще и точнее, однако он требует заметно больших временных затрат, чем первый. Для первого варианта требуется определять начальное содержание радона в воздухе емкости, которое достаточно мало, и далее последовательно определять ОА радона в воздухе емкости через определенные промежутки времени. Во втором варианте достаточно продержат установку в герметичном состоянии 7–10 периодов полураспада радона и однократно выполнить определение ОА радона в воздухе емкости, которая достигает значительных уровней и не представляет сложности для определения.

При этом для обоих вариантов определения численного значения ППР с поверхности изделий в лабораторных условиях можно заранее установить требования к минималь-

но определяемому значению показателя, в основном за счет варьирования суммарной площади поверхности облицовочных изделий.

При проведении экспериментальных исследований в лабораторных условиях для определения объемной активности радона в воздухе емкости нами применялся радиометр радона типа РГГ-02Т [7]. Измерения ОА радона в воздухе емкости в каждый временной момент проводились двукратно с отбором проб воздуха объемом 5 дм³, который контролировался с помощью газового счетчика с погрешностью не более 0,1 дм³ (2%).

Для экспериментальных исследований были выбраны образцы керамогранитных изделий, для которых характерно однородное распределение природных радионуклидов по объему изделий, и образцы глазурованной керамической плитки, для которых характерно заметно большее содержание природных радионуклидов в тонком слое глазури, наносимой на поверхность изделий. Два типа этих керамических облицовочных материалов наиболее широко используются в современном строительстве как жилых, так и общественных и производственных зданий и сооружений. В зависимости от назначения, толщина этих изделий отличается незначительно: обычно она составляет около 7 мм для изделий, предназначенных для облицовки стен, и около 9–10 мм – для облицовки полов. Учитывая это, для экспериментальных исследований нами выбраны изделия для облицовки пола толщиной 9–10 мм.

Для первой серии экспериментальных исследований были выбраны образцы облицовочных керамогранитных изделий размером 60×60 см марки «6FW2061M (матовый бамбук)» производства фирмы «MONA LIZA» (КНР) из товарной партии изделий.

Для второй серии экспериментальных исследований нами были выбраны образцы глазурованной керамической плитки для внутренней облицовки полов размером 30×45 см марки «KAIR BEIGE (светло-фисташковая с мраморными разводами)» производства фирмы «Azzo Ceramics» (КНР) из товарной партии изделий. До загрузки изделий в емкость, как и в первой серии, проводилось определение удельной активности ²²⁶Ra в изделиях методом сцинтилляционной гамма-спектрометрии [8].

Экспериментальные исследования по определению плотности потока радона с поверхности облицовочных изделий в натуральных условиях заметно сложнее, поскольку в таких исследованиях крайне трудно контролировать основные параметры баланса радона и, прежде всего, реальный воздухообмен помещений. С другой стороны, в натуральных условиях имеется возможность использовать большие площади эманулирующих поверхностей, так что результаты этих исследований также представляют значительный интерес. Для этих исследований нами использовано помещение в подвальном этаже здания ФГУН НИИРГ.

Учитывая, что полная герметизация реального помещения в существующем здании практически невозможна, выражение для расчета плотности потока радона с поверхности облицовочных изделий нами получено из уравнения баланса радона в воздухе вентилируемого помещения. Для накопления радона в воздухе такого помещения справедливо уравнение баланса радона в воздухе:

$$\frac{dC(\tau)}{d\tau} = \frac{S \cdot R}{V_o} - \lambda \cdot C(\tau) - k \cdot [C(\tau) - C_H] \quad (5)$$

в котором кратность воздухообмена в помещении обозначена символом k (1/час), а C_H – объемная активность радона в наружном воздухе, поступающем в помещение за счет вентиляции, Бк/м³.

Для реальных помещений практически всегда выполняется условие $k > 0,1$ 1/час, так что значение k при этом не менее чем на 1 порядок больше значения λ . Учитывая это, уравнение (5) можно переписать в более простом виде:

$$\frac{dC(\tau)}{d\tau} = \frac{S \cdot R}{V_o} - k \cdot [C(\tau) - C_H]. \quad (6)$$

Решение уравнения (6) при начальном условии $C(\tau=0) = C_O$ имеет следующий вид:

$$C(\tau) = \left\{ \frac{S \cdot R}{k \cdot V_o} + C_H \right\} \cdot \{1 - \exp[-k \cdot \tau]\} + C_O, \quad \text{Бк/м}^3, \quad (7)$$

из которого получено расчетное выражение для определения плотности потока радона с поверхности изделий:

$$R = \frac{k \cdot V_o}{S} \cdot \left[\frac{C(\tau) - C_O \cdot \exp(-k \cdot \tau)}{1 - \exp(-k \cdot \tau)} - C_H \right], \quad \text{Бк/(м}^2 \cdot \text{с)}. \quad (8)$$

Выражение (8) получено из предположения, что в период накопления радона в воздухе помещения объемная активность радона в приточном воздухе остается постоянной и равной C_H Бк/м³. Возможно, что это не совсем так, однако реально проконтролировать это достаточно сложно, поскольку идентифицировать все пути поступления и выноса радона из объема помещения нереально. Однако в пользу постоянства этой величины можно привести результаты мониторинга объемной активности радона в воздухе помещения до начала экспериментальных исследований: в течение 7 суток она колебалась в пределах от 10 до 20 Бк/м³. Кроме того, учитывая значительные объем и площади облицованной части поверхности стен и полов помещения, в расчетах не учитывался объем облицовочных изделий, который составляет менее 1% от общего объема помещения.

Как и для лабораторных исследований, в натуральных условиях нами выполнены две оценки численного значения ППР с поверхности облицовочных изделий. В первом случае использованы результаты последовательных измерений ОА радона в воздухе помещения в динамике с последующим расчетом ППР. Во втором – определение значения ППР по стационарному содержанию радона в воздухе помещения, для чего использовано выражение (9), которое получено из (8) при условии $\tau \rightarrow \infty$:

$$R = \frac{k \cdot V_o}{S} \cdot [C(\tau = \infty) - C_H], \quad \text{Бк/(м}^2 \cdot \text{с)}. \quad (9)$$

При этом в обоих вариантах исследований измерения объемной активности радона в воздухе помещения в каждый временной момент в динамике или в стационарном режиме проводились не менее чем в 10 точках по объему помещения, а в качестве расчетного значения объемной активности радона в воздухе принималось среднее значение по результатам всех измерений.

Кратность воздухообмена в помещении определялась двумя независимыми способами. Определение кратнос-

ти воздухообмена расчетным путем по сдвигу равновесия между короткоживущими дочерними продуктами распада радона (ДПР) нами проводилось многократно в период обеих серий исследований. Такая оценка кратности воздухообмена, вообще говоря, дает верхнюю границу величины k , поскольку она не учитывает сдвиг равновесия между объемной активностью дочерних продуктов распада радона в воздухе, связанный с их осаждением на поверхности ограждающих конструкций помещения [10]. При небольших габаритах помещений вклад этого механизма может приводить к заметному увеличению оценки кратности воздухообмена в них.

Для определения кратности воздухообмена вторым способом в объем экспериментального помещения однократно инжестрировался радон из барботера, так чтобы ОА радона в воздухе достигала 200-300 Бк/м³ или более. Затем после перемешивания воздуха проводился непрерывный мониторинг содержания радона и ДПР в воздухе помещения в трех фиксированных точках. По полученным данным рассчитывалось значение k по сдвигу равновесия, как описано выше, а также по динамике снижения ОА радона в воздухе помещения по формуле:

$$k = \frac{1}{\tau} \cdot \ln \left\{ \frac{C_O - C_H}{C(\tau) - C_H} \right\}, \quad 1/\text{ч}, \quad (10)$$

в котором приняты те же обозначения, что и выше. Уравнение (10) получено из (7) в предположении $R=0$, что соответствует отсутствию облицовки помещения. Однако измерения для оценки кратности воздухообмена нами проводились в облицованном помещении с той целью, чтобы не исказить оценку значения k по сдвигу равновесия. Учитывая, что мониторинговые измерения в помещении длились менее 5 часов, нетрудно увидеть, что учет R фактически не изменит расчетную формулу (10), поскольку за счет притока радона в экспериментальное помещение изменение ОА радона в воздухе за это время может составить менее 1 Бк/м³, то есть менее 1% от реального содержания радона в воздухе.

В результате выполненных измерений получено, что кратность воздухообмена в помещении составляет около 1,9 1/час по данным мониторинга радона и около 2,0–2,3 1/час по данным определения сдвига равновесия между отдельными ДПР. Учитывая, что разница между полученными значениями k невелика, при определении значения R значение кратности воздухообмена в экспериментальном помещении нами принято равным 2,0 1/час, одинаковым для обеих серий исследований.

Результаты и обсуждение

Характеристики экспериментальной лабораторной установки, показанной на рисунке 1, а также результаты первой серии измерений с последующим расчетом плотности потока радона с поверхности облицовочных изделий приведены в таблице 1, в которой VKI – объем облицовочных изделий в емкости, м³.

Результаты второй серии измерений с последующим расчетом плотности потока радона с поверхности образцов глазурированной керамической плитки для облицовки полов приведены в таблице 2.

Учитывая, что в выражение (4) для расчета ППР по второму варианту начальное значение ОА радона в воз-

духе емкости не входит, формально не было необходимости для глубокой очистки воздуха от радона после герметизации емкости, что и сказалось на начальном ее значении, которое составило 23 Бк/м³.

Характеристика условий проведения натуральных испытаний, а также результаты измерений и расчетов плотности потока радона с поверхности облицовочных изделий в экспериментальном помещении приведены в таблице 3. Для экспериментальных исследований в натуральных условиях были выбраны керамогранитные изделия марки «6FW2061M (матовый бамбук)» производства фирмы «MONA LIZA» (КНР) из товарной партии изделий.

Таблица 1

Результаты определения плотности потока радона с поверхности образцов керамогранитных облицовочных изделий (первая серия измерений)

№ п/п	V_{O_2} , м ³	S , м ²	V_{KI} , м ³	A_{Ra} , Бк/кг	τ , час	$C(\tau)$, Бк/м ³	R , мБк/(м ² ·с)
1					0,0	5,5	–
2	0,2105	5,40	0,0245	180	144,0	27,0	0,0031
3					216,0	30,0	0,0030

Таблица 2

Результаты определения плотности потока радона с поверхности образцов глазурованной керамической плитки (вторая серия измерений)

№ п/п	V_{O_2} , м ³	S , м ²	V_{KI} , м ³	A_{Ra} , Бк/кг	τ , час	$C(\tau)$, Бк/м ³	R , мБк/(м ² ·с)
1	0,2105	7,20	0,0387	145	0,0	23,0	–
2					720	50,0	0,0025

Таблица 3

Результаты определения плотности потока радона с поверхности образцов облицовочных изделий в натуральных условиях (первый вариант определения ППР)

№ п/п	V_{O_2} , м ³	S , м ²	K , 1/с	A_{Ra} , Бк/кг	τ , час	$C(\tau)$, Бк/м ³	R , мБк/(м ² ·с)
1					0	16,5	–
2	36,4	35,1	$5,55 \times 10^{-4}$	180	72	62,0	0,0244
3					144	93,0	0,0221

Характеристика условий проведения второй серии натуральных испытаний, а также результаты измерений и расчетов плотности потока радона с поверхности облицовочных изделий в натуральных условиях приведены в таблице 4. Для экспериментальных исследований в этой серии для облицовки пола в помещении нами были выбраны образцы облицовочных керамогранитных изделий размером 60×60 см марки «6FW2061M (матовый бамбук)» производства фирмы «MONA LIZA» (КНР), а для облицовки стен – глазурованная керамическая плитка размером 30×45 см марки «KAIR BEIGE (светло-фисташковая с мраморными разводами)» производства фирмы «Azzo Ceramics» (КНР). До начала исследований выполнено определение исход-

ных данных по содержанию радона в воздухе помещения, а значение ОА радона в наружном воздухе, поступающем в помещение за счет вентиляции, было принято равным 10 Бк/м³. Эта величина нами была получена ранее интегральным методом для территории города и хорошо согласовывается с данными [9].

Таблица 4

Результаты определения плотности потока радона с поверхности образцов облицовочных изделий в натуральных условиях (определение значения ППР в стационарном режиме)

№ п/п	V_{O_2} , м ³	S , м ²	K , 1/с	A_{Ra} , Бк/кг	τ , час	$C(\tau)$, Бк/м ³	R , мБк/(м ² ·с)
1	36,4	35,1	$5,55 \times 10^{-4}$	165	0	24	–
2					696	50	0,015

$A_{эфф}$ в облицовке определено по данным анализа с учетом площади пола и стен помещения, облицованной изделиями разных марок

Прежде чем перейти к анализу полученных данных, обратим внимание на три момента. Во-первых, результаты лабораторных исследований оказались достаточно близкими, что свидетельствует о хорошей воспроизводимости результатов экспериментальных исследований. Разработанная методика определения плотности потока радона с поверхности облицовочных изделий имеет очень хорошую чувствительность, что обеспечивает возможность определения очень низких значений ППР. Причем она не требует применения уникального измерительного оборудования и достаточно легко реализуема на практике.

Во-вторых, полученные значения плотности потока радона с поверхности облицовочных керамогранитных и глазурованных керамических изделий близки друг к другу, составляя значительно менее 0,01 мБк/(м²·с).

В-третьих, значения ППР для обоих типов облицовочных изделий по данным экспериментальных исследований в натуральных условиях оказались заметно выше, чем с использованием экспериментальной установки в лабораторных условиях. Возможно, что более высокие значения этого показателя в натуральных условиях связаны с тем, что кратность воздухообмена помещения в натуральных условиях определялась не прямым путем, а расчетными методами по динамике снижения ОА радона в воздухе и сдвигу равновесия между короткоживущими дочерними продуктами распада радона. Как уже говорилось, такая оценка кратности воздухообмена дает завышенную оценку величины k , и, как следствие, значения ППР.

Полученные нами оценки плотности потока радона с поверхности двух наиболее широко используемых в современном строительстве типов облицовочных изделий вполне удовлетворительно согласуются с данными литературы, которые в обобщенном виде приведены в таблице 5, где для сравнения приведены и наши данные. Как следует из приведенных в таблице 5 данных, значения ППР для облицовочных изделий разных производителей находятся в пределах от 0,0064 до 0,33 мБк/(м²·с). Хотя и близкими, но несколько ниже оказались наши данные.

Укажем, что большинство приведенных в таблице 5 данных получены авторами в экспериментальных исследова-

дованиях в натуральных условиях, которые, как отмечалось, дают заметно завышенные результаты. На наш взгляд, более реальными выглядят значения ППР на уровне около 0,01 мБк/(м²·с) или чуть ниже. В пользу этого говорит и тот факт, что для облицовочных изделий из керамики и керамогранита, а также из природных материалов характерны очень низкие уровни коэффициентов эманирования радона [2, 3, 4].

Таблица 5

Плотность потока радона с поверхности керамических облицовочных изделий по данным [2]

Страна (изделия разных производителей)	Плотность потока радона с поверхности изделий, мБк/(м ² ·с)
Италия	0,0419–0,1606
Таиланд	0,2740
Австралия	0,2170
Египет	0,0064
Тайвань	0,3320
Индия	0,0990–0,3241
Аргентина	0,1525
Китай	0,0744
Китай (наши данные)	0,0025–0,0244

Используя полученные данные, выполним далее оценку вклада эманирования радона с поверхности облицовочных изделий в облучение населения. При этом будем считать, что время облучения жителей в зданиях составляет 80% от продолжительности года, а остальные исходные расчетные данные примем равными:

– среднегодовая кратность воздухообмена в жилых и общественных зданиях находится на уровне не ниже 0,1 1/час;

– среднегодовое значение коэффициента радиоактивного равновесия F между радоном и его ДПР в воздухе жилых и общественных зданий составляет 0,5.

С учетом этого рассмотрим помещения разных размеров в плане, считая для простоты высоту всех помещений одинаковой и равной 2,5 м. Считая далее, что все ограждающие конструкции (стены, полы и потолки) помещения покрыты облицовочными изделиями, из уравнения (7) в предположении $C_{H1}=0$ (нами оценивается только вклад эманирования радона из облицовки помещения) можно получить выражение для среднегодового значения ОА радона в воздухе помещения:

$$C_{CT} = \frac{R \cdot S}{k \cdot V_o}, \text{ Бк/м}^3, \quad (11)$$

в котором обозначения те же, что и выше, размерность k для удобства принята в 1/час, а размерность R принята в единицах Бк/(м²·час).

Принимая значение дозового коэффициента для короткоживущих дочерних продуктов распада радона в соответствии с [9] равным $9,0 \cdot 10^{-6}$ мЗв/(час·Бк/м³), для расчета вклада эманирования радона с поверхности облицовочных изделий в облучение населения получим выражение:

$$E = 0,032 \cdot \frac{R \cdot S}{k \cdot V_o}, \text{ мЗв/год}. \quad (12)$$

Это выражение нами использовано для расчета ожидаемых эффективных доз облучения населения за счет эманирования радона из облицовочных изделий, результаты которых приведены в таблице 6.

Таблица 6

Оценка вклада эманирования радона из облицовочных изделий в годовые эффективные дозы облучения населения, мЗв/год

R, мБк/(м ² ·с)	k, 1/час	Размеры помещения в плане, м		
		2×2	3×4	5×5
0,005	0,1	0,016	0,011	0,009
	0,5	0,003	0,002	0,002
	1,0	0,002	0,001	0,001
0,010	0,1	0,032	0,022	0,018
	0,5	0,006	0,005	0,004
	1,0	0,003	0,002	0,002
0,050	0,1	0,161	0,113	0,092
	0,5	0,032	0,023	0,018
	1,0	0,016	0,011	0,009

В таблице 6 строки с кратностью воздухообмена 0,5 1/ч специально выделены полужирным в связи с тем, что приблизительно такая кратность воздухообмена обычно предусмотрена в проектах современных жилых домов. Кратность воздухообмена на уровне около 0,1 1/час или менее бывает характерной для жилых домов в тех случаях, когда эффективность системы вентиляции зданий крайне низка (завалены вентиляционные каналы, проектом не предусмотрен приток наружного воздуха, считая, что он будет происходить через открытые окна и т.д.).

В проектах общественных и производственных зданий обычно предусматривается приточно-вытяжная система вентиляции с механическим побуждением с проектной кратностью воздухообмена по притоку не менее 1,0 1/час. Ясно, что при большей кратности воздухообмена, вклад рассматриваемого пути облучения в суммарные дозы будет меньше, поэтому в таблице 6 мы ограничились расчетами для значений k до 1,0 1/час.

Также здесь нами не рассматривались результаты расчетов для очень высоких и очень низких значений R , поскольку вклад этого пути в дозы облучения населения при R менее 0,005 мБк/(м²·с) не превышает первых единиц мкЗв/год, а значения плотности потока радона значительно выше 0,05 мБк/(м²·с) для керамических и керамогранитных облицовочных изделий и материалов, как указано выше, маловероятны.

Как следует из анализа данных таблицы 6, чем больше габариты помещений, тем меньше ожидаемые дозы облучения населения за счет эманирования радона из облицовочных изделий, что вполне объяснимо из соотношения (12), поскольку отношение площади поверхности ограждений помещений к его объему уменьшается с ростом габаритов помещения. Наиболее высокие дозы населения за счет этого пути облучения – около 160 мкЗв/год – могут быть в помещениях, которые имеют небольшие габариты и одновременно крайне неэффективно вентилируются. Правда, следует отметить, что время пребывания людей в по-

мещениях с такими размерами существенно меньше принятой выше величины, поскольку размеры помещений менее 2×2 м обычно являются характерными для туалетных и ванн комнат в жилых домах.

Поэтому, если принять, что помещения постоянного пребывания людей в жилых домах имеют площадь свыше 10–12 м², то при кратности воздухообмена в них около 0,5 1/час эффективные дозы облучения людей за счет эманирования радона из облицовочных изделий могут составить от 2 до 23 мкЗв/год. Однако и эта оценка имеет как минимум двукратный запас. В самом деле, если не рассматривать туалетные и ванн комнаты в жилых домах, о чем уже сказано, то остается единственное помещение с наибольшей площадью облицованных стен и полов – кухня и/или столовая. Очевидно, что даже в случае отсутствия окон в таком помещении, дверной проем, а также верхняя половина стен и потолок остаются обычно без облицовки и участия в потоке радона в помещении не принимают. Маловероятно, чтобы максимальный вклад в облучение населения за счет эманирования радона с поверхности облицовочных изделий в реальных условиях превысил 10 мкЗв/год.

Относительно оценки этого вклада для помещений общественных и производственных зданий и сооружений можно указать, что он будет существенно меньшим в силу значительно меньшего времени пребывания в них людей – до 2000 час в год. Кроме того, обычно все помещения в этих зданиях имеют значительные размеры, вследствие чего вклад эманирования радона с поверхности облицовки стен и полов в облучение людей оказывается незначительным.

Рассмотрим в заключение, насколько может возрасти вклад этого пути облучения населения, если эффективная удельная активность природных радионуклидов в облицовочных изделиях и материалах достигнет 740 Бк/кг. Будем при этом считать, что значение ППР с поверхности этих изделий пропорционально удельной активности ²²⁶Ra в них, что вполне логично следует из данных таблиц 1 и 2: отношение удельной активности ²²⁶Ra к значению R для обоих типов облицовочных изделий приблизительно одинаково и составляет 6×10⁷ м²·с для керамогранитной и 5,8×10⁷ м²·с для глазурованной керамической плитки.

Обычно для большинства керамических и керамогранитных облицовочных изделий, также как и для облицовочных изделий из природного камня, удельный вклад ²²⁶Ra в эффективную удельную активность природных радионуклидов составляет около 34% при диапазоне значений от 15% до 60%. Это хорошо подтверждается результатами определения A_{эфф} более чем в 200 образцах облицовочных изделий отечественных и зарубежных производителей [3]. Исходя из этого, маловероятно, чтобы при значениях A_{эфф} в облицовочных изделиях до 740 Бк/кг удельная активность ²²⁶Ra в них превысила значение 250–300 Бк/кг.

При такой удельной активности ²²⁶Ra в облицовочных изделиях плотность потока радона с их поверхности может составить не более 0,004–0,005 мБк/(м²·с). Как следует из данных таблицы 6, при таких значениях ППР дополнительная доза облучения населения за счет эманирования радона с поверхности облицовочных изделий не превысит нескольких мкЗв/год. И только при удельной активности ²²⁶Ra в облицовочных изделиях на уровне 500 Бк/кг, что крайне маловероятно при значениях A_{эфф} до 740 Бк/кг, эта доза

может достигать 10 мкЗв/год. Такая величина является пренебрежимо малой и для природных источников излучения, и для источников излучения техногенного происхождения.

Выводы

Таким образом, выполненные исследования и анализ полученных экспериментальных и расчетных данных позволяют сформулировать следующий общий вывод: при обосновании допустимого содержания природных радионуклидов в облицовочных изделиях и материалах для жилых, общественных и производственных зданий и сооружений вкладом в облучение населения эманирования радона с поверхности этих изделий можно пренебречь.

Основной вклад в облучение населения за счет использования облицовочных изделий и материалов вносит внешнее излучение содержащихся в них природных радионуклидов. Учитывая это, в качестве критерия допустимого содержания природных радионуклидов в этих изделиях может быть принята величина эффективной удельной активности природных радионуклидов в них – A_{эфф}.

При этом, поскольку радиоактивное равновесие в рядах урана и тория в облицовочных изделиях и материалах нарушено незначительно, то физически строгое определение величины АЭФФ по [10, 11] фактически совпадает с определением этой величины в соответствии с НРБ-99/2009 [12]. Вследствие этого при проведении радиационного контроля содержания природных радионуклидов в облицовочных изделиях и материалах эманированием радона из них можно пренебречь, что резко упрощает их контроль по показателям радиационной безопасности.

Литература

1. Стамат И.П., Стамат Д.И. К обоснованию нормативов по содержанию природных радионуклидов в облицовочных изделиях и материалах. // Радиационная гигиена, 2009. Т. 2, № 1. С. 46–52.
2. O'Brien R.S., Aral H., Peggie J.R. Radon exhalation rates and gamma doses from ceramic tiles // Health Phys 1998. 75 (6). P. 630–639.
3. Стамат И.П. Совершенствование нормативно-методических основ обеспечения радиационной безопасности населения при облучении природными источниками: разработка и обоснование гигиенических нормативов на отдельные источники природного облучения населения / И.П. Стамат, Т.А. Балабина, В.А. Венков [и др.]: Отчет Фонд ФГУН НИИРГ. С. Петербург, 2009.
4. Yahong Mao. Physical models and limits of radionuclides for decorative building materials / Mao Yahong, Liu Yigang, Fu Yuchuan [et al.] // Health Phys., 2006. V. 90, № 5. P. 471–475.
5. Кузнецов Ю.В., Ярына В.П. Проблема достоверности измерений плотности потока радона // АНРИ, 2001. № 4. С. 26–29.
6. Павлов И.В., Гулабянц Л.А.. Задачи и методы радиационного контроля при строительстве зданий // АНРИ, 2003. № 3. С. 2–13.
7. Методические указания «Объемная активность радона-222 в воздухе». Методика выполнения измерений диффузионными детекторами радона. Утверждена Глав. Гос. Центром единства измерений ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. СПб, 1994 г. 18 с.
8. Методика выполнения измерений удельной активности радионуклидов радия-226, тория-232, калия-40, цезия-137 в счетных образцах, изготовленных их проб продукции

- промышленных предприятий, предприятий сельского хозяйства, объектов окружающей среды и технологических сред. Свидетельство о метрологической аттестации ВНИИМ им. Д.И. Менделеева № 769/07 от 02.07.2007 г.
9. Источники и эффекты ионизирующего излучения: Отчет НКДАР ООН, 2000 года Генеральной Ассамблее с научными приложениями. Т. 1: Источники (часть 1): Пер. с англ. [под ред. Акад. РАМН Л.А. Ильина и проф. С.П. Ярмоненко]. М.: РАДЭКОН, 2002. 308 с.
10. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989.
11. Карпов В.И., Крисюк Э.М. Фотонное излучение естественных радионуклидов. Издание НКРЗ 79-14, 1979 г.
12. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09): утв. и введены в действие от 07 июля 2009 г. взамен СанПиН 2.6.1.758-99. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.

I.P. Stamat¹, A.V. Svetovidov¹, D.I. Stamat², G.A. Gorsky³, V.A. Venkov¹

To the justification of regulations for natural radionuclide content in the facing products and materials: Assessment of radon isotopes emanation input to the population exposure

¹ Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev» of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

² Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg

³ Administration of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being in Saint-Petersburg, Saint-Petersburg

Abstract. The article addresses issues of enhancing regulatory support for the population radiation protection against effects of natural radiation sources. Experimental study results of input of radon emanation from the facing products to the population exposure are being presented. It is demonstrated that establishing of regulation for the natural radionuclide content in the facing products may be based only on the limitation of external exposure from contained radionuclides.

Key words: natural irradiation sources, natural radionuclides, radon isotopes, facing products and materials, gamma radiation dose rate, effective exposure dose from the natural irradiation sources.

Поступила 02.11.2009 г.

И.П. Стамат
Тел. (812) 232-43-29;
E-mail: istamat@mail.ru