

Обследование города Краснокаменск на содержание радона в помещениях

А.М. Маренный¹, С.М. Киселёв², А.В. Титов², С.Б. Золотухина⁴, В.И. Астафуров¹, В.А. Дмитриев³, Л.А. Журавлёва⁵, М.А. Маренный³, Н.А. Нефедов¹, А.В. Пенезев¹, Е.А. Хохлова⁵

¹ Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены ФМБА России, Москва

² Государственный научный центр Российской Федерации Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

³ Группа компаний РЭИ, Москва

⁴ Центр гигиены и эпидемиологии № 107 ФМБА России, Краснокаменск

⁵ Региональное управление № 107 ФМБА России, Краснокаменск

Проведено обследование жилых домов и учреждений города Краснокаменска на содержание радона в помещениях. Измерения объемной активности радона проводились интегральным методом с помощью трековых камер. Камеры экспонировали по 3–4 месяца в отопительный и теплый периоды года в одних и тех же помещениях. Получены значения эквивалентной равновесной объемной активности радона и доз от радона в помещениях. Показано, что ситуация с облучением населения г. Краснокаменска радона в целом соответствует требованиям Норм радиационной безопасности. Представлены межсезонные отношения объемной активности радона в помещениях.

Ключевые слова: *обследования, объемная активность радона, ЭРОА радона, коэффициент равновесия, межсезонный коэффициент, доза, помещения, жилые и общественные здания, населенный пункт.*

Введение

В 1963 г. геологи Сосновской экспедиции обнаружили в Приаргунской степи богатое месторождение урана. Благодаря такому открытию появились крупнейший в стране уранодобывающий комбинат (объединение ОАО «ППГХО») и город Краснокаменск.

Город находится на расстоянии около 15 км от основных карьеров и шахт по добыче урана. В настоящее время Краснокаменск представляет собой развитое городское образование, ядро которого разделено на девять микрорайонов. Население города составляет 60 тысяч человек. Значительная часть населения работает на предприятиях, входящих в состав объединения ППГХО.

В данной работе представлены результаты обследований на содержание радона в помещениях жилых и общественных зданий в центральных микрорайонах города с целью оценки соответствия помещений требованиям [1, 2].

Методические аспекты обследований

Известно, что ЭРОА радона в помещениях претерпевают значительные суточные и сезонные колебания, и для получения среднегодовых значений ЭРОА с применением инспекционного метода необходимо выполнять многократные измерения, равномерно распределенные в пределах суток, для разных времен года и при соблюдении определенных условий вентиляции помещения [3]. Понятно, что организовать проведение таких измерений в рамках широкомасштабных обследований практически невозможно. Выгодной альтернативой являются измерения интегральными методами, среди которых наиболее практичным и точным является метод, основанный на использовании трековых экспозиметров. Обследования г. Краснокаменск были проведены именно этим методом

с использованием комплекта аппаратуры ТРЕК-РЭИ-1м. Основы метода и принцип работы аппаратуры, а также вопросы формирования выборок помещений при обследовании населенных пунктов и размещения экспозиметров в обследуемых помещениях детально рассмотрены в работе [4], обработка результатов измерений проводилась в соответствии с [5].

В данной работе выборка обследуемых помещений формировалась путем привлечения персонала учреждений (сотрудники медицинских, детских учреждений и т.д.).

Результаты обследований

Обследование помещений г. Краснокаменска проходило в два периода: в отопительный период (декабрь 2011 г. – апрель 2012 г.) и в теплый период (апрель – август 2012 г.). Экспозиметры были размещены в жилых домах, детских садах, предприятиях общественного питания и общественных зданиях. Отметим, что обследования в отопительный и теплый периоды проводились в одних и тех же помещениях. Гамма-фон в помещениях составил 0,16–0,21 мкЗв/ч.

Значения ЭРОА радона определялись по измеренным значениям объемной активности при значении коэффициента равновесия 0,5.

Достаточно корректно среднегодовое значение ЭРОА радона в воздухе помещений можно оценить как сумму значений ЭРОА в отопительный и теплый периоды с учетом долей года, приходящихся на эти периоды, по соотношению:

$$\text{ЭРОА}_{\text{год}} = K_{\text{от}} \cdot \text{ЭРОА}_{\text{от}} + K_{\text{т}} \cdot \text{ЭРОА}_{\text{т}},$$

где: $\text{ЭРОА}_{\text{год}}$ – среднегодовое значение ЭРОА радона, Бк/м³;

$\text{ЭРОА}_{\text{от}}$ – среднее значение ЭРОА радона за отопительный период, Бк/м³;

$ЭРОА_t$ – величина ЭРОА радона за теплый период, Бк/м³;
 $K_{от}$ – доля продолжительности отопительного периода в году;

K_t – доля продолжительности теплого периода в году.

Продолжительность теплого и отопительного периодов определяется, исходя из решений административных органов управления территорией о начале и завершении отопительного периода.

Анализ полученных результатов определения ЭРОА в помещениях был проведен отдельно для жилых зданий и учреждений (детские, торговые и общественного питания, медицинские). Это вызвано тем обстоятельством, что жилые помещения расположены преимущественно на 1–5-м этажах (небольшое количество – на 8-м и 9-м этажах), учреждения – на первых этажах и в подвалах зданий.

Распределение количества обследованных жилых помещений (всего около 70 помещений в каждый сезон) по

этажам представлено в таблице 1. Помещения достаточно равномерно находятся в зданиях, находящихся в микрорайонах центральной части города.

Из таблицы 1 видно, что обследованные жилые помещения достаточно равномерно распределены по этажам. Основной тип обследованных зданий – 5-этажные панельные.

В результате обследований жилых домов получены интервалы значений ЭРОА радона в жилых помещениях: в отопительный период – 13–125 Бк/м³, в теплый период – 10–101 Бк/м³, среднеарифметические значения по городу: в отопительный период – 45 Бк/м³, в теплый период – 32 Бк/м³, среднегодовые значения – 38 Бк/м³.

Интервалы значений ЭРОА радона в жилых помещениях, сгруппированные по этажам, представлены в таблице 2, а среднеарифметические значения ЭРОА радона, усредненные по этажам и микрорайонам, представлены в таблице 3.

Таблица 1

Распределение количества обследованных жилых помещений по этажам

Этаж	1		2		3		4		5		8	
	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП
Период												
Количество помещений	11	11	16	15	15	14	12	12	11	11	3	2

Здесь и далее ОП – отопительный период (декабрь 2011 г. – апрель 2012 г.), ТП – теплый период (апрель – август 2012 г.).

Таблица 2

Интервалы значений и среднесезонные значения ЭРОА радона (Бк/м³) в жилых домах, сгруппированные по этажам обследованных помещений

Этаж	1		2		3		4		5		8	
	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП
Интервал значений	33–117	10–101	16–86	11–46	16–50	15–57	13–125	13–46	17–88	18–101	32–48	22–55
Средне-сезонные значения	57	39	41	28	38	31	56	30	38	34	38	-

Таблица 3

Интервалы значений и среднесезонные значения ЭРОА радона (Бк/м³) в помещениях жилых домов, усредненные по микрорайонам

Мкр	1		2		3		4		5		6	
	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП
Интервал значений	32–88	22–55	16–47	19–50	23–88	15–70	24–125	15–101	16–56	10–61	29–56	14–50
Средне-сезонные значения	60	28	34	28	40	31	51	41	38	28	38	32
Среднегодовые значения	45		31		36		46		33		35	

Таблица 3 (окончание)

Мкр	7		8		Ц	
	ОП	ТП	ОП	ТП	ОП	ТП
Интервал значений	13–49	22–46	26–48	11–57	17–84	22–55
Средне-сезонные значения	38	25	37	29	43	38
Среднегодовые значения		31		33		14

Из этих данных можно сделать несколько выводов с оговоркой, что эти выводы можно рассматривать только как предварительные ввиду недостаточной статистики измерений в каждой из групп данных:

1) ни в одном из обследованных жилых помещений не обнаружены значения ЭРОА радона, превышающие 200 Бк/м³;

2) нет ожидаемой явной зависимости как полученных отдельных значений ЭРОА, так и среднеарифметических, от этажа нахождения помещений. Более того, в ряде ситуаций в помещениях на первом этаже получены меньшие значения ЭРОА радона, чем на верхних этажах. Это может указывать на то, что радон в помещения поступает, в основном, из ограждающих конструкций. Заметное превышение значений ЭРОА на первом этаже, причем в оба периода измерений, наблюдается только в 4-м микрорайоне, что может свидетельствовать о более высокой радоноопасности и, как следствие, о необходимости более детальных обследований зданий на его территории;

3) среднегодовые значения ЭРОА (см. табл. 3) находятся, в основном, на уровне среднероссийских значений.

Кроме жилых домов, были обследованы помещения детских и медицинских учреждений, а также магазины и предприятия общественного питания. Общее количество обследованных учреждений – 74. Помещения расположены на первых этажах и в подвалах. В ряде учреждений проведены измерения в нескольких помещениях. Для них определены средне-арифметические значения, при расчете которых использовались данные только по помещениям длительного пребывания работников.

Полученные значения ЭРОА радона во всех обследованных помещениях наглядно представлены на рисунке 1. Интервалы среднеарифметических значений ЭРОА радона в учреждениях: в детских учреждениях – в отопительный период – 33–90 Бк/м³, в теплый период – 29–142 Бк/м³, среднегодовое значение – 35–90 Бк/м³; в других учреждениях – в отопительный период – 33–395 Бк/м³, в теплый период – 16–363 Бк/м³, среднегодовые значения – 29–264 Бк/м³.

Рассмотрение гистограмм с учетом специфики помещений показывает:

– во всех детских и медицинских учреждениях среднегодовое значение ЭРОА радона (с учетом погрешности 30%) не превышает 100 Бк/м³;

– значение 200 Бк/м³ превышено (с учетом погрешности 30%) в пяти торговых учреждениях (264, 238, 399, 206, 380 Бк/м³); отметим, что два из них не имеют подвальных помещений (264 и 238 Бк/м³), в подвалах остальных находятся складские или малопосещаемые помещения.

Межсезонные соотношения ЭРОА. Для всех обследованных помещений были рассчитаны межсезонные соотношения $K_{сез} = O_{Аоп}/O_{Атп}$ (ЭРОА_{оп}/ЭРОА_{тп}).

Распределение полученных значений представлено на рисунке 2.

Значения соотношений для жилых помещений лежат в интервале 0,5–6,2, среди них: 34% не превышают 1, 66% – более 1. Далеко не всегда, как это обычно принимается, значение ОА (ЭРОА) радона в конкретном помещении в отапливаемый период выше, чем в теплый.

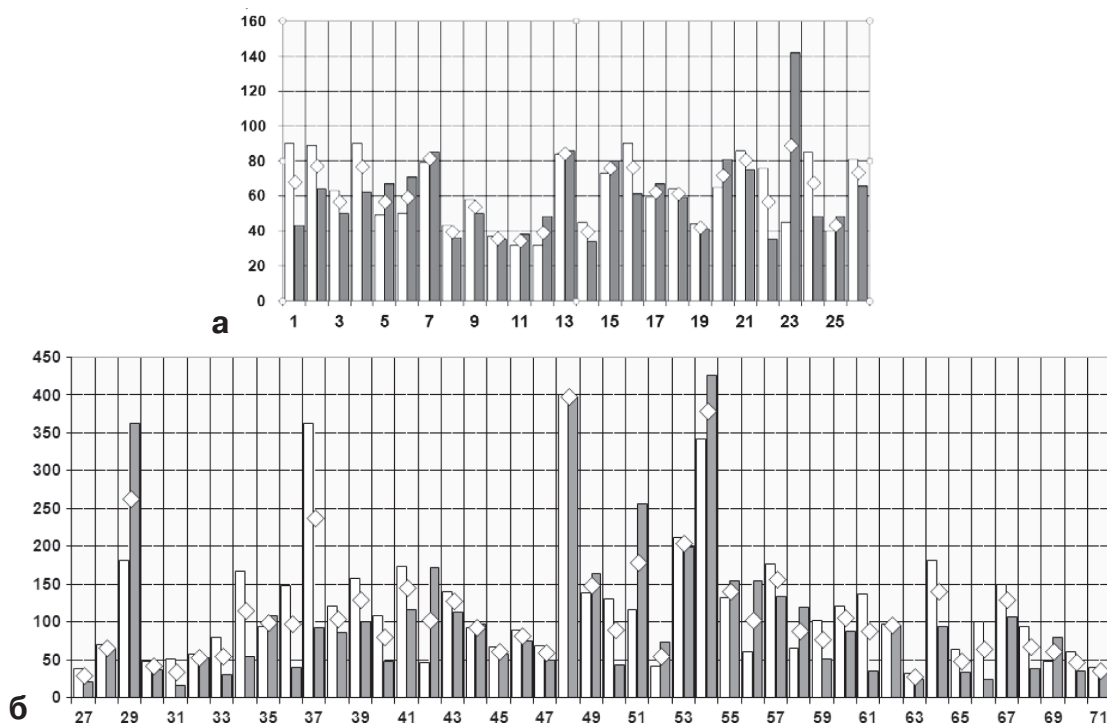


Рис. 1. Значения ЭРОА радона в учреждениях г. Краснокаменска, обследованных в отопительный и теплый периоды года: а – детские и медицинские учреждения, б – учреждения торговли и общественного питания.

По оси абсцисс – номера обследованных организаций, по оси ординат – значения ЭРОА радона, Бк/м³.
 Обозначения: □ – ЭРОА радона в отопительный период 2011–2012 гг., ■ – ЭРОА радона в теплый период 2012 г.; ◇ – среднегодовое значение ЭРОА радона за 2012 г.

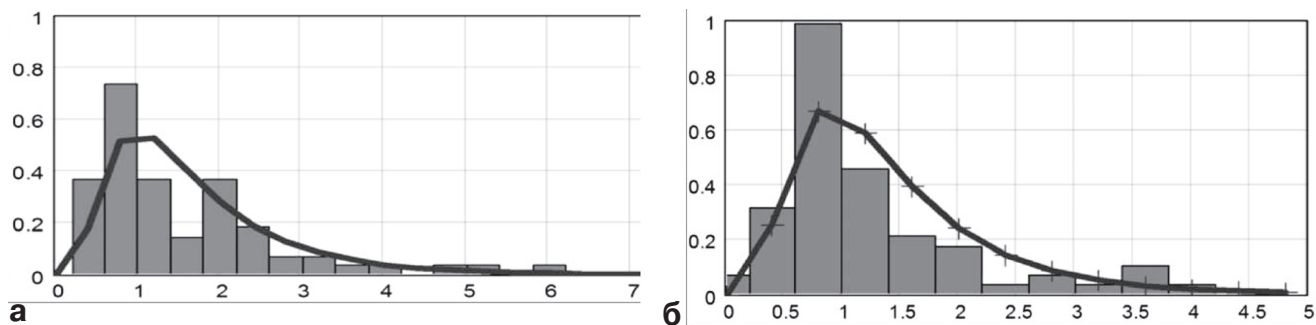


Рис. 2. Распределение значений межсезонного коэффициента, а – для жилых помещений, б – для учреждений. По оси абсцисс – значение коэффициента, по оси ординат – плотность вероятности повторяемости коэффициента. Гистограмма – результаты плотности повторяемости $K_{сез}$, линия – расчет по формуле плотности логнормального распределения (а – $N=86$; $\mu=0,36$; $\sigma=0,61$; б – $N=71$; $\mu=0,2$; $\sigma=0,56$). Шаг интервала 0,4. Среднее арифметическое: а – 1,74, б – 1,43; среднее геометрическое а – 1,44, б – 1,22; а – мин.=0,5, макс.=6,2; б – мин.=0,3, макс.=4,2

Среднее арифметическое значение $K_{сез, ср} = 1,7$. Отметим, что средние арифметические значения $K_{сез}$ отличны для помещений различного назначения: в помещениях, обозначенных как «спальня», оно составляет 1,3; в помещениях «кухня» – 1,5; в помещениях «зал» – 2,0. Эту особенность, возможно, можно объяснить разными режимами вентиляции (проветривания), характерными для помещений определённого назначения.

Получены значения $K_{сез, ср}$ по группам помещений, расположенных на разных этажах: на первом – 1,7; на втором – 1,7; на третьем – 1,5; на четвертом – 2,4; на пятом – 1,2; на восьмом – 2,3. Нет ожидаемой явной зависимости как полученных отдельных значений $K_{сез}$, так и среднеарифметических, от этажа нахождения помещений.

Распределение полученных значений $K_{сез}$ для обследованных помещений учреждений представлено на рисунке 2 (б). Значения соотношений лежат в интервале 0,3 – 4,2. Среди них: 31% не превышают 1, 68% – более 1, что свидетельствует о том, что, так же, как и с жилыми помещениями, не всегда значение ОА (ЭРОА) радона в конкретном помещении в отапливаемый период выше, чем в теплый. Среднее арифметическое значение $K_{сез, ср} = 1,4$. Нет явной зависимости как полученных отдельных значений $K_{сез}$, так и среднеарифметических, от местонахождения помещений.

Интересно отметить, что для детских учреждений интервал значений межсезонных коэффициентов составляет 0,3–2,1 при среднеарифметическом значении 1,1, а для торговых и иных учреждений – 0,3–4,2 и 1,6 соответственно. Возможной причиной этого является регламентированный режим проветривания помещений в детских учреждениях вне зависимости от отопительного периода.

Отмеченные особенности поведения межсезонных соотношений $K_{сез}$ носят предварительный характер и нуждаются в дальнейшем изучении и детализации.

Дозы облучения от радона. На основании полученных среднесезонных и среднегодовых значений ЭРОА радона в соответствии с соотношениями, приведенными ниже, были рассчитаны значения сезонных и годовых доз от радона для всех обследованных жилых помещений.

Значение индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей населенного пункта (района и т.п.) за счет короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона в воздухе рассчитывается по данным измерений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений и атмосферном воздухе на территории населенного пункта, исходя из формулы [6]:

$$E_{вн, \text{ЭД}} = 9,0 \cdot 10^{-6} \cdot 8800 \cdot (0,2 \cdot \bar{A}_{\text{экр.ул.}} + 0,8 \cdot \bar{A}_{\text{экр.зд.ан.}}) = 0,01584 \cdot (\bar{A}_{\text{экр.ул.}} + 4 \cdot \bar{A}_{\text{экр.зд.ан.}}), \text{ мЗв/год.}$$

Доза за отопительный и теплый периоды при условии принятия измеренного значения ЭРОА ко всему периоду и исходя из приведенной формулы для расчета дозы от радона в помещении рассчитывается по формулам:

для отопительного периода:

$$E_{вн, \text{Rn}} = 0,01584 \cdot (K_{от} \cdot (\text{ЭРОА}_{\text{экр.ул.}} + 4 \cdot \text{ЭРОА}_{\text{от.зд.}})), \text{ мЗв,}$$

для теплого периода:

$$E_{вн, \text{Rn}} = 0,01584 \cdot (K_{т} \cdot (\text{ЭРОА}_{\text{экр.ул.}} + 4 \cdot \text{ЭРОА}_{\text{т.зд.}})) \text{ мЗв,}$$

среднегодовая доза (как сумма доз отопительного и теплого периодов в году):

$$E_{вн, \text{Rn}} = 0,01584 \cdot (K_{от} \cdot (\text{ЭРОА}_{\text{экр.ул.}} + 4 \cdot \text{ЭРОА}_{\text{от.зд.}}) + K_{т} \cdot (\text{ЭРОА}_{\text{экр.ул.}} + 4 \cdot \text{ЭРОА}_{\text{т.зд.}})), \text{ мЗв/год,}$$

в которых приняты следующие обозначения:

$\text{ЭРОА}_{\text{экр.ул.}}$ – значение ЭРОА изотопов радона в воздухе на открытой территории населенного пункта ($\text{ЭРОА}_{\text{экр.ул.}} = 6,5 \text{ Бк/м}^3$ в соответствии с данными о среднесезонных значениях ЭРОА изотопов радона в приземном слое атмосферного воздуха при отсутствии измерений);

$\text{ЭРОА}_{\text{от.зд.}}$ – ЭРОА радона в помещениях жилых и общественных зданий, Бк/м^3 , за отопительный период года.

$\text{ЭРОА}_{\text{т.зд.}}$ – ЭРОА радона в помещениях жилых и общественных зданий, Бк/м^3 , за теплый период года.

Значения доз в жилых помещениях, усредненные по этажам и микрорайонам, представлены в таблице 4.

Как можно видеть из таблицы 4, в объеме обследованных помещений отсутствуют достоверные отличия в дозах в рамках выбранных критериев.

Значения доз для всех обследованных учреждений представлены на рисунке 3.

Таблица 4

Значения среднегодовых доз, усредненные по этажам и микрорайонам

Этаж	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Доза, мЗв/год	3,2	2,3	2,3	2,7	2,4	–	–	2,2	–
Мкр	1	2	3	4	5	6	7	8	Ц
Доза, мЗв/год	3,0	2,1	2,4	3,2	2,2	2,3	2	2,2	2,6

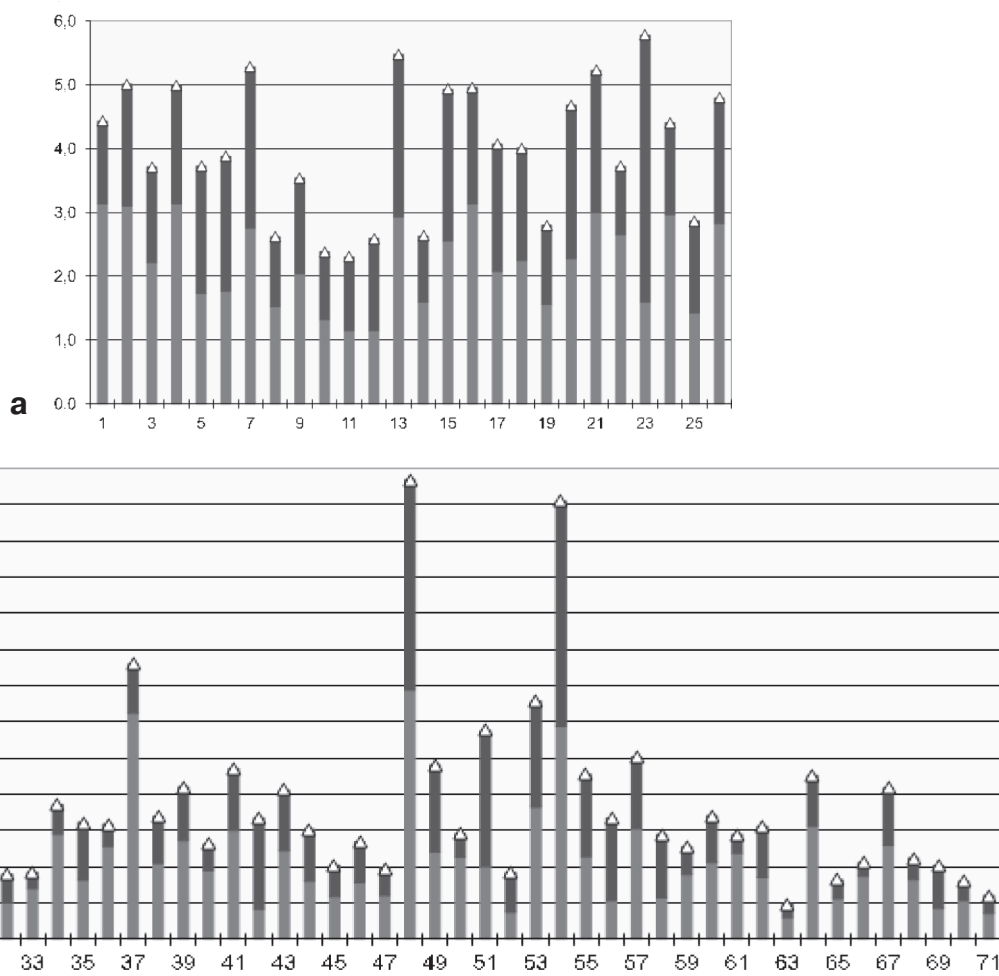


Рис. 3. Значения дозы от радона в помещениях учреждений г. Краснокаменска, обследованных в отопительный и теплый периоды года: а – детские и медицинские учреждения, б – торговые учреждения и предприятия общественного питания. По оси абсцисс – номера обследованных помещений, по оси ординат – значения дозы от радона. Обозначения: □ – доза от радона в отопительный период 2011–2012 гг.; ■ – доза от радона в теплый период 2012 г.; ▲ – годовое значение дозы от радона за 2012 г. (сумма доз за отопительный и теплый периоды)

В соответствии с действующими нормативными документами [2] степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз облучения всеми основными природными источниками излучения: менее 5 мЗв/год – приемлемый уровень облучения населения от природных источников излучения; свыше 5 до 10 мЗв/год – облучение населения является повышенным; более 10 мЗв/год – облучение населения является высоким.

Очевидно, что совокупность полученных результатов, как по значениям ЭРОА, так и по дозам от радона, указывает на приемлемый уровень облучения населения практически во всех обследованных жилых помещениях.

В целом, ЭРОА радона и дозы облучения не превышают значения приемлемого уровня облучения населения от природных источников излучения. Однако, с учетом того, что детские учреждения требуют особого внима-

ния, целесообразно обратить внимание на учреждения, где средняя доза составляет более 4 мЗв/год (предполагается, что доза от гамма-фона примерно 1 мЗв/год), которые, на наш взгляд, нуждаются в повторном более детальном обследовании.

Радиационная обстановка в обследованных предприятиях торговли и общественного питания в целом вполне приемлемая. Вместе с тем, средняя доза от радона в нескольких учреждениях превышает 10 мЗв/год. Целесообразно повторить детальное обследование этих учреждений, вычленив при этом только помещения длительного пребывания персонала и посетителей (более двух часов в сутки).

Литература

1. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)».
2. СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)».
3. Маренный, А.М. Проблема облучения населения от природных источников ионизирующих излучений / А.М. Маренный // Ядерная и радиационная безопасность России. – 2002. – Вып. 2 (5). – С. 36–63.
4. Маренный, А.М. Методические аспекты измерений средней объемной активности радона в помещениях интегральным трековым методом / А.М. Маренный // АНРИ. – 2012. – №4. – С. 13–19.
5. МВИ 2.6.1.003–99. «Радон. Измерение объемной активности интегральным трековым методом в производственных, жилых и общественных помещениях»; МИ «Радон. Измерение объемной активности в воздухе помещений интегральным трековым методом», Свидетельство об аттестации № 40090.2И385 от 16.07.2012.
6. МУ 2.6.1.1088-02. «Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения».

A.M. Marenniy¹, S.M. Kiselev², A.V. Titov², S.B. Zolotukhina⁴, V.I. Astafurov¹, V.A. Dmitriev³, L.A. Zhuravleva⁵, M.A. Marenniy³, N.A. Nefedov¹, A.V. Penezev¹, E.A. Khokhlova⁵

Survey in Krasnokamensk city on the content of indoor radon

¹ Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene of FMBA of Russia, Moscow

² Federal Medical Biophysical Center after A.I. Burnasyan of FMBA of Russia, Moscow

³ Group of companies REI, Moscow

⁴ Centre of Hygiene and Epidemiology № 107 of FMBA of Russia, Krasnokamensk

⁵ Regional Management № 107 of FMBA of Russia, Krasnokamensk

Abstract. Survey of dwellings and enterprises of the Krasnokamensk city on the indoor radon content were performed. The radon volume activity measurements were carried out by integral method with the help of track chambers. Chambers were exhibited in the heating and the warm periods of the year for the 3-4 months in the same premises. The values of equivalent equilibrium volume activity of radon and doses from radon were obtained. It is shown, that the situation with the radon irradiation of the population of Krasnokamensk city in general meets the requirements of the radiation safety standards. Seasonal relations of volume radon activity in the premises are presented.

Key words: survey, volume radon activity, radon EEC, equilibrium factor, seasonal relation, dose, premises, residential and public buildings, settlements.

А.М. Маренный
Тел. (499)193-11-02
В.И. Астафуров
E-mail: vastafurov@mail.ru

Поступила: 10.07.2013 г.