

## Обследование зданий города Лесной на содержание радона в помещениях

А.М. Маренный<sup>1</sup>, М.Е. Киселева<sup>2</sup>, Н.А. Нефёдов<sup>1</sup>, Г.И. Сутягина<sup>2</sup>, Л.Э. Карл<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-технический центр радиационно-химической безопасности гигиены ФМБА России, Москва, Россия

<sup>2</sup>Центр гигиены и эпидемиологии № 91 ФМБА России, Лесной, Свердловская область, Россия

*Проведено обследование зданий города Лесной Свердловской области на содержание радона в помещениях. Измерения объемной активности радона проводились интегральным методом с помощью трековых экспозиметров РЭИ-4. Экспозиметры устанавливались для проведения измерений на 2–4 месяца в отопительный и теплый периоды года в одних и тех же помещениях. Обследованы несколько групп зданий: 17 детских садов, 7 школ, 20 жилых домов, 22 медицинских учреждения и 3 здания общественных организаций. Представлены результаты определения эквивалентной равновесной объемной активности радона в помещениях на разных этажах групп зданий в отопительный и теплый период года, а также оценённые среднегодовые значения эквивалентной равновесной объемной активности радона для зданий детских садов, школ, жилых домов и медицинских учреждений находятся в интервале 34–51 Бк/м<sup>3</sup> и только для учреждений достигают 79 Бк/м<sup>3</sup>. Средние значения эквивалентной равновесной объемной активности радона по всем помещениям города Лесной составили: для отопительного периода – 46 Бк/м<sup>3</sup>, для тёплого – 38 Бк/м<sup>3</sup>, среднегодовое – 42 Бк/м<sup>3</sup>. Показано, что как для отдельных периодов, так и в среднем по году отношение средних значений эквивалентной равновесной объемной активности радона в помещениях на вторых этажах по отношению к первым этажам зданий разных групп зданий составляет 0,6–0,8. Для более высоких этажей жилых домов эквивалентная равновесная объемная активность радона вообще не зависит от этажа. Это можно объяснить как малой статистикой измерений в помещениях на верхних этажах, так и в среднем относительно невысокими значениями эквивалентной равновесной объемной активности, характерными для большинства зданий города. Оценки показали, что в помещениях кирпичных домов содержание радона в среднем меньше, чем в шлакоблочных: диапазоны значений эквивалентной равновесной объемной активности радона – 15–188 и 15–235 Бк/м<sup>3</sup>, средние среднегодовые значения эквивалентной равновесной объемной активности радона – 41 и 54 Бк/м<sup>3</sup> соответственно. Консервативные оценки годовых доз облучения радоном во всех обследованных помещениях не превышают 10 мЗв/год, а средние значения годовых доз для большинства групп зданий (детские сады, школы, жилые дома, медицинские учреждения) находятся в интервале 2–3 мЗв/год и только для группы «Иные учреждения» достигает 4 мЗв/год. Показано, что ситуация с облучением населения г. Лесной радоном в целом соответствует требованиям Норм радиационной безопасности. Представлены рекомендации по продолжению радоновых обследований зданий города.*

**Ключевые слова:** обследования, объемная активность радона, ЭРОА радона, доза, помещения, жилые и общественные здания, город, радиационная безопасность.

### Введение

Воздействие ионизирующих излучений на человека является одной из наиболее значимых и актуальных проблем радиационной гигиены и экологии. Облучение людей формируется за счет трех основных видов источников ионизирующего излучения – техногенных, медицинских и природных.

Природные источники ионизирующего излучения (ПИИИ) – радон, гамма-излучение грунта и космические

излучения – являются повсеместно и постоянно действующими факторами окружающей среды, оказывающими неблагоприятное влияние на здоровье человека. Они создают основной вклад в дозу облучения населения (в среднем примерно 70%). По оценке Научного комитета ООН по действию атомной радиации [1] значения среднегодовой дозы облучения от природных источников для большинства лиц из населения мира принадлежат диапазону 1–10 мЗв при среднем значении 2,4 мЗв.

### Маренный Альберт Михайлович

Научно-технический центр радиационно-химической безопасности гигиены Федерального Медико-биологического агентства России

Адрес для переписки: 123182, Москва, ул. Щукинская, д. 40; E-mail: amarennyy@yandex.ru

Радон и радиоактивные продукты его распада вносят основной вклад в радиационный фон жилых и производственных помещений. От 50 до 90% дозы облучения формируется за счет радона. Большую часть дозы от изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов человек получает в помещениях жилых, общественных и производственных зданий и сооружений. Среднемировое значение объемной активности (ОА) радона в воздухе помещений составляет 40 Бк/м<sup>3</sup>. В отдельных зданиях содержание радона в воздухе может быть многократно повышено.

Радон генерируется в грунте и других объектах геологической среды, содержащих естественный радионуклид радий-226 [2]. В воздух помещения радон поступает вследствие проникновения его в здание из грунта через плиты межэтажных перекрытий, негерметичных вводов коммуникаций и выделения радона из радий-содержащих материалов ограждающих помещения конструкций [3, 4]. В меньшей степени источниками радона в помещении могут быть вода из скважин, атмосферный воздух, бытовой газ. Механизм накопления радона приводит к тому, что значения ОА радона в помещениях могут во много раз превышать ОА радона в атмосферном воздухе. ОА радона в помещениях претерпевают значительные суточные и сезонные колебания.

От 3 до 14% ежегодно регистрируемых в мире заболеваний раком легких обусловлены радоном [5].

Таким образом, «проблема радона» является комплексной, включающей в себя различные аспекты радиационной безопасности и гигиены, геофизики, медицины и биологии и др. [6, 7]

Согласно Федеральному закону «О радиационной безопасности населения»<sup>1</sup>, должны проводиться оценка и анализ доз облучения населения от всех источников ионизирующего излучения, включая природные источники, как начальный этап последующего его снижения. Естественно, должны рассматриваться жилые и общественные здания, так как в наибольшей степени облучение радоном происходит обычно в жилых домах, дополнительное воздействие ПИИИ осуществляется в общественных зданиях (детские учебные и дошкольные учреждения, медицинские учреждения и т.д.), где население может находиться в течение длительного времени.

В нормативных документах НРБ-99/2009<sup>2</sup> и СанПиН 2.6.1.2800-10<sup>3</sup> в целях ограничения облучения населения

установлены ограничения на облучение от природных источников: в зданиях жилищного и общественного назначения среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона в воздухе помещений не должна превышать 100 Бк/м<sup>3</sup> для вновь возводимых зданий и 200 Бк/м<sup>3</sup> для эксплуатируемых зданий.

Для выявления наиболее облучаемых групп населения России Федеральная целевая программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (ФЦП ОЯРБ)<sup>4</sup> было предусмотрено проведение широкомасштабных выборочных обследований эксплуатируемых жилых, общественных и производственных зданий в населенных пунктах. Во исполнение мероприятий ФЦП ОЯРБ в 2008–2015 гг. были проведены обследования населенных пунктов на 28 территориях, обслуживаемых ФМБА России [8, 9].

В рамках программы в течение 2012–2013 гг. ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 91 Федерального медико-биологического агентства» (ФГБУЗ ЦГиЭ № 91) совместно с ФГУП «Научно-технический центр радиационно-химической безопасности и гигиены» Федерального медико-биологического агентства (ФГУП НТЦ РХБГ) провели выборочное двухсезонное радоновое обследование зданий различного назначения на территории городского округа «Город Лесной». Целями обследования являлись контроль соблюдения установленных в НРБ-99/2009 требований по ЭРОА радона в воздухе эксплуатируемых помещений и оценка соответствия состояния с облучением населения природными источниками ионизирующих излучений (ПИИИ), главным образом радоном, требованиям нормативных документов.

Сотрудники ФГУП НТЦ РХБГ обеспечивали координацию работ, методическое обеспечение, предоставление средств измерений (экспозиметров радона), организацию и ведение единой базы данных по проводимым исследованиям, анализ результатов. Сотрудники ФГБУЗ ЦГиЭ № 91 осуществляли размещение экспозиметров в обследуемых помещениях, проведение выборочных инспекционных измерений ЭРОА радона и гамма-фона в обследуемых помещениях, сбор и возврат экспозиметров для обработки в НТЦ РХБГ, участвовали в анализе результатов.

В данной работе представлены методические аспекты и основные результаты проведенных обследований.

<sup>1</sup> Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ (ред. от 19.07.2011 г.) «О радиационной безопасности населения» [Federal state Law №3-FZ from 09.01.1996 «On the radiation safety of the public». Ed. On 19.07.2011 (In Russian)]

<sup>2</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09) утв. и введены в действие от 07.07.09 г. – Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с. [Norms of the radiation safety (NRB 99/2009): Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009 – 100 p. (In Russian)]

<sup>3</sup> СанПиН 2.6.1.2800-10. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет источников ионизирующего излучения: Санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. [SanPiN 2.6.1.2800-10. Hygienic requirements on the limitation of the public exposure from the sources of ionizing exposure: Sanitary rules and norms. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rospotrebnadzor, 2011. (In Russian)]

<sup>4</sup> Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Утверждена постановлением Правительства РФ от 13 июля 2007 г. № 444. [Federal focused programme “Provision of the nuclear and radiation safety on 2008 and on the period up to 2015”. Approved by the decree of the Government of the Russian Federation from 13.07.2007 №444. (In Russian)]

**Методические аспекты обследований**

Известно, что ОА и ЭРОА радона в помещениях претерпевают значительные суточные и сезонные колебания. Для контроля соблюдения установленных в НРБ-99/2009 требований по ЭРОА радона в воздухе помещений необходимо определить среднегодовые значения ОА радона либо объемную активность дочерних продуктов радона (ДПР). Для измерения применяют аппаратуру, которая реализует инспекционные, квазиинтегральные и интегральные методы, позволяющие получать значения ОА за различные промежутки времени [6, 7].

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 [10]. Организовать проведение таких измерений в рамках широкомасштабных обследований практически невозможно. Примерно с той же ситуацией приходится сталкиваться при использовании квазиинтегрального метода.

Поэтому для проведения обследований содержания радона в помещениях зданий различного назначения в качестве основного в данной работе был принят интегральный метод, при реализации которого для измерения ОА радона использовались пассивные пробоотборные камеры (экспозиметры) с трековыми детекторами (ТД) и приборы для последующей обработки ТД из комплекта аппаратуры «ТРЕК-РЭИ-1М»<sup>5</sup>. Основы метода, принцип и методика работы с аппаратурой и ТД, а также вопросы формирования выборок помещений при обследовании населенных пунктов и размещения экспозиметров в обследуемых помещениях детально рассмотрены в<sup>5</sup> и [11]. В части обследуемых помещений, помимо интегральных измерений, проводились и измерения гамма-фона, а также кратковременные (инспекционные) измерения для определения коэффициента равновесия радона и его дочерних продуктов.

Экспозиметры в обследуемых помещениях в соответствии с [11] размещали в местах, удаленных от окон и отопительных приборов на высоте 1–2 м над уровнем пола. Для каждого обследуемого помещения оформлялся паспорт измерений, в который заносили сведения о методе и сред-

ствах измерений, адрес обследуемого объекта, назначение территории и объекта, строительные и некоторые другие характеристики объекта и обследуемого помещения, дату измерения, инспекционные значения ОА и ЭРОА радона, уровень гамма-фона. Паспорт измерений соответствует формату занесения результатов в базу данных НТЦ РХБГ «Радон» [12]. Для используемой аппаратуры и продолжительности измерений минимально измеряемое значение ОА составило 15 Бк/м<sup>3</sup>.

Для перехода от измеренных значений ОА радона к ЭРОА радона, в соответствии с МУ 2.6.1. 2838-11<sup>6</sup>, использовали значение коэффициента равновесия, равное 0,5.<sup>6</sup>

При использовании интегрального метода определения объемной активности радона 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 соотношениям<sup>7</sup>:

$$\text{ЭРОА}_{\text{оп}} = F \cdot \text{ОА}_{\text{оп}} \quad (1)$$

$$\text{ЭРОА}_{\text{тп}} = F \cdot \text{ОА}_{\text{тп}} \quad (2)$$

$$\text{ЭРОА}_{\text{год}} = K_{\text{оп}} \cdot \text{ЭРОА}_{\text{оп}} + K_{\text{тп}} \cdot \text{ЭРОА}_{\text{тп}}, \quad (3)$$

где:  $F$  – коэффициент равновесия между радоном и его ДПР, для всех помещений принято равным 0,5<sup>6</sup>;  $\text{ЭРОА}_{\text{год}}$  – среднегодовое значение ЭРОА радона, Бк/м<sup>3</sup>;  $\text{ЭРОА}_{\text{оп}}$  – среднее значение ЭРОА радона за отопительный период, Бк/м<sup>3</sup>;  $\text{ЭРОА}_{\text{тп}}$  – величина ЭРОА радона за теплый период, Бк/м<sup>3</sup>;  $K_{\text{оп}}$  – доля продолжительности отопительного периода в году;  $K_{\text{тп}}$  – доля продолжительности теплового периода в году.

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

Значение индивидуальной среднегодовой эффективной дозы внутреннего облучения за счет короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона в воздухе рассчитывается по данным измерений ЭРОА радона в воздухе помещений и атмосферном воздухе при значении дозового коэффициента  $9 \cdot 10^{-6} \text{мЗв}/(\text{час} \cdot \text{Бк}/\text{м}^3)$  по соотношениям, приведенным в МУ 2.4.1.1088-02<sup>8</sup>.

<sup>5</sup> 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. [Method of the conduction of measurements 2.6.1.003–99. “Radon. Measurement of the volume activity using integral track method in industrial, accommodation and administrative premises”; Method of measurements “Radon. Measurement of the volume activity in the air of premises using integral track method”. Attestation certificate № 40090.2И385, 16.07.2012 (In Russian)]

<sup>6</sup> Методические указания МУ 2.6.1.2838-11. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности. Утв. 28.01.2011 взамен МУ 2.6.1.715.98. [Methodical guidelines MG 2.6.1.2838-11. Radiation control and sanitary-epidemiological assessment of residential, public and industrial buildings and constructions after the completion of construction, general overhaul, renovation on the indicators of radiation safety. Approved 28.01.2011 (In Russian)].

<sup>7</sup> Методические указания МУ 2.6.1.037-2015. Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности. Утв. 14.05.2015. 40 с. [Methodical guidelines MG 2.6.1.037-2015. Estimation of the average annual of equilibrium equivalent concentration of radon isotopes in the air of housings based on the measurements of different duration. Approved 14.05.2015, 40 p. (In Russian)].

<sup>8</sup> МУ 2.6.1.1088-02. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. – Минздрав России, Москва, 2002. [Methodic guidelines 2.6.1.1088-02 Assessment of the individual effective doses of the public from natural sources of ionizing radiation. Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, 2002. (In Russian)]



Учитывая специфику интегральных измерений содержания радона в воздухе, среднегодовую дозу от радона принимают равной сумме доз, полученных в отопительный и теплый период года, значения которых получаются из соотношений<sup>9</sup>:

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

$$E_{тп}^{вн, Rn} = 0,01584 \cdot (K_{тп} \cdot (ЭРОА_{экр.ул} + 4 \cdot ЭРОА_{тп.зд.})), \text{ мЗв}, \quad (5)$$

$$E_{срг}^{вн, Rn} = 0,01584 \cdot (K_{от} \cdot (ЭРОА_{экр.ул} + 4 \cdot ЭРОА_{от.зд.}) + K_{тп} \cdot (ЭРОА_{экр.ул} + 4 \cdot ЭРОА_{тп.зд.})), \text{ мЗв/год}, \quad (6)$$

где: ЭРОА<sub>экр.ул</sub> – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе на открытой территории населенного пункта (ЭРОА<sub>экр.ул</sub> = 6,5 Бк/м<sup>3</sup> в соответствии с данными о среднемировых значениях ЭРОА изотопов радона в приземном слое атмосферного воздуха при отсутствии измерений); ЭРОА<sub>от.зд.</sub> – среднее значение ЭРОА радона в помещениях жилых и общественных зданиях, Бк/м<sup>3</sup>, за отопительный период года; ЭРОА<sub>тп.зд.</sub> – среднее значение ЭРОА радона в помещениях жилых и общественных зданиях, Бк/м<sup>3</sup>, за теплый период года.

**Результаты обследований**

Больше всего измерений ОА радона было проведено в учреждениях здравоохранения, но при этом исследованиями в большей или меньшей степени были охвачены абсолютно все школьные и дошкольные учреждения, расположенные на территории городского округа «Город Лесной», т.е. для детских учреждений представительность выборки получилась удовлетворительной. Так как округ включает в себя, помимо самого города, посёлки

Горный и Чашавита, то в них также были обследованы все имеющиеся детские и медицинские учреждения.

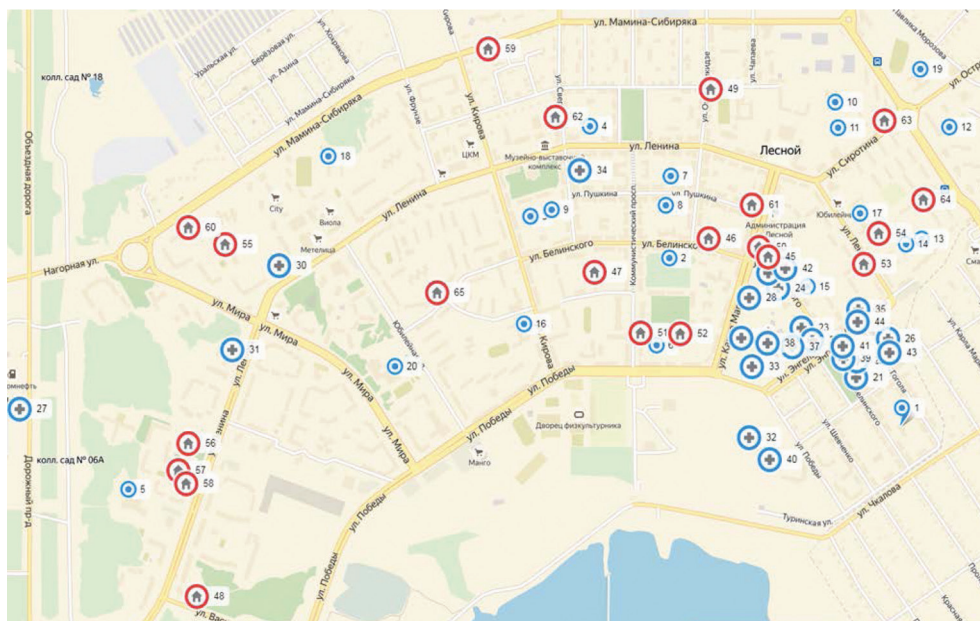
Для проведения измерений (размещения экспозиметров радона) выбирали преимущественно помещения с наиболее длительным пребыванием обитателей. В детских садах – это игровые комнаты, комнаты для занятий и т.д., в школах – классы, в медицинских и иных учреждениях – рабочие кабинеты, в жилых домах – спальни и гостиные.

Обследование помещений в режиме их штатной эксплуатации проходило в два периода: в теплый период (август – сентябрь 2012 г.) и в отопительный период (декабрь 2012 г. – март 2013 г.).

**Город Лесной.** Общее количество зданий, в которых находятся обследованные помещения, – 65, в том числе: 20 – здания детских садов и школ, 24 – медицинских и иных учреждений, 21 – жилых домов. Выборка включала в себя дома малой и большой этажности разных годов постройки (с 1950 г. по 2008 г.), имеющие различные строительные характеристики, из различных стройматериалов (шлакоблочные, деревянные, кирпичные, брусчатые, крупнопанельные), с подвалами и без них.

Обследуемые здания находятся в разных частях города. Карта города Лесной с нанесенными на неё обозначениями зданий, в которых находятся обследованные помещения, представлена на рисунке 1.

Часть измерений была проведена в подвалах нескольких общественных зданий, т.к. именно подвалы наименее защищены от проникновения радона и в силу этого могут служить индикатором радоноопасности территории. Обобщенные результаты измерений представлены в таблице 1. Расположение зданий в таблице (колонка 1) обозначено номерами точек в соответствии с картой рисунка 1. Порядок



**Рис. 1.** Обследованные здания города Лесной.

Обозначения: – детские учреждения, – медицинские и иные учреждения, – жилые дома

**[Fig. 1.** Surveyed buildings in the city Lesnoy

Notations: – child institutions, – medical and other institutions, – dwelling houses]

## Обобщенные сведения об измерениях ЭРОА радона в подвалах зданий

[Table 1]

## Generalized data of measurements of EEC of radon in cellars of buildings

Номер точки на карте [Number of point on the map]	Год постройки [The year of construction]	Этажность [Number of floors]	Материал [Material]	Средние значения ЭРОА*, Бк/м <sup>3</sup> [Average meaning of EEC*, Bq/m <sup>3</sup> ]					
				Подвал [Cellar]			Первый этаж [The first floor]		
				ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
42	1963	2	Кирпич [Brick]	475	412	444	58	< 15	33
20	1995	3	Кирпич [Brick]	254	237	245	19	< 15	< 15
3	1961	2	Ш/б [C/b]	142	83	113	94	69	81
23	1964	3	Кирпич [Brick]	102	111	107	48	54	51
35	1959	4	Ш/б [C/b]	53	120	87	59	88	73
33	1967	4	Кирпич [Brick]	83	87	85	81	41	61
19	1967	3	Кирпич [Brick]	46	93	70	60	29	45
4	1952	2	Ш/б [C/b]	34	62	48	38	29	34
34	1984	3	Кирпич [Brick]	50	40	45	< 15	< 15	< 15

\*Всего 27 измерений в подвалах, 16 измерений в отопительный период, 11 измерений в теплый период. [Sum of the total 27 measurements in cellars, 16 measurements in heating period, 11 measurements in warm period.]

\*\*Обозначения: ОП – отопительный период, ТП – теплый период, СРГ – среднегодовое значение, Ш/б – шлакоблоки. [Notations: HP – heating period, WP – warm period, AA – average annual values, C/b – cinder blocks]

следования строк – в порядке убывания среднегодовых значений ЭРОА в подвалах (выделены курсивом, колонка 7).

Сравнение содержимого колонок 5–7 с соответствующими значениями в колонках 8–10 показывает, что строительные характеристики указанных в таблице 1 зданий (перекрытия, вентиляция и т.д.) обеспечивают безопасные как в отдельные периоды, так и в среднем по году уровни ЭРОА радона на первом этаже зданий.

Сопоставление данных таблицы с картой рисунка 1 показывает, что здания с более высокими значениями ЭРОА радона в подвалах сосредоточены преимущественно в юго-восточной части города. Это может указывать на «пятнистую» структуру зон потенциальной радоноопасности, для выявления которой необходимо проведение специальных исследований [2].

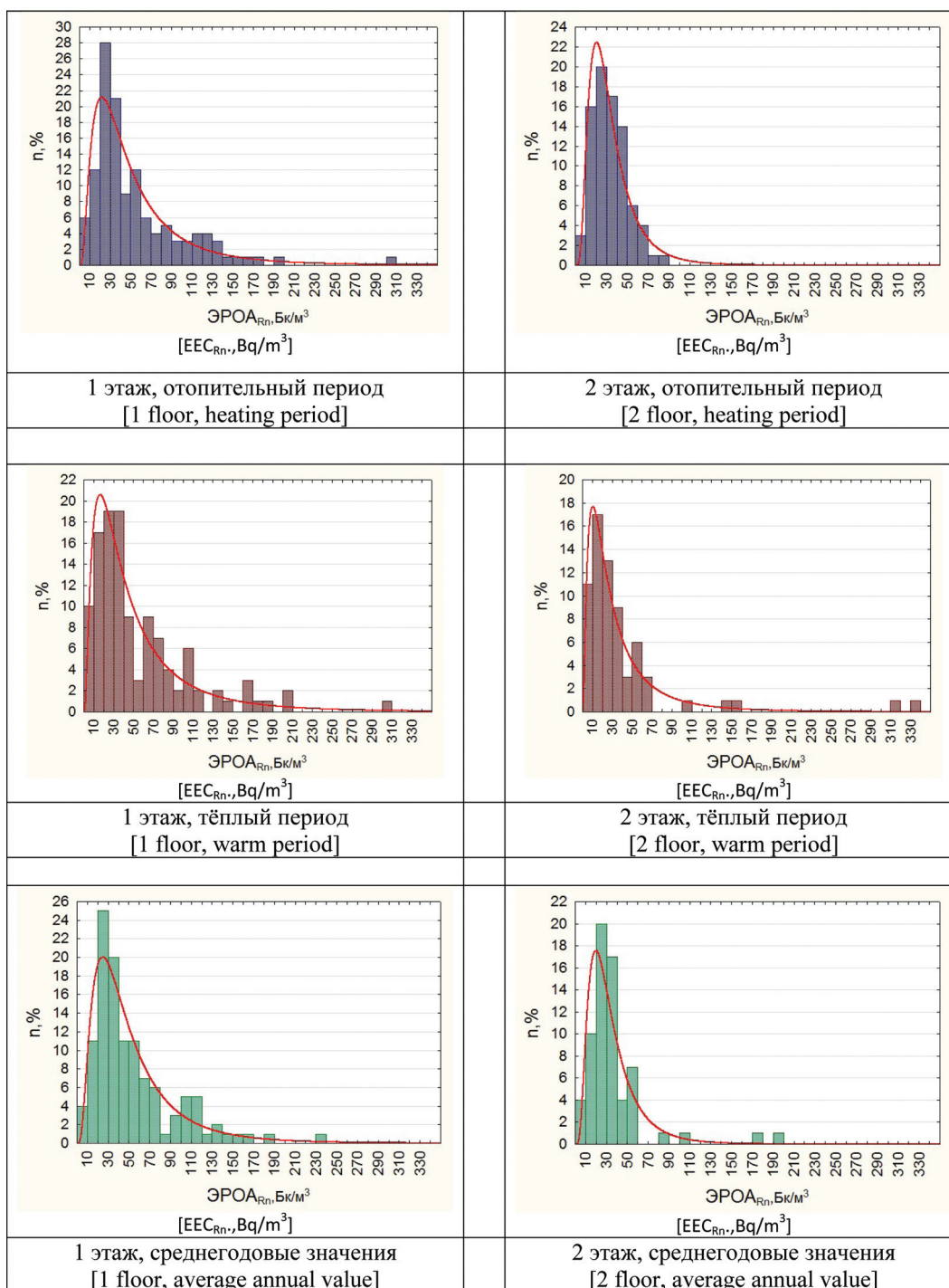
С точки зрения оценки текущего состояния радиационной опасности для населения города, большее значение представляют результаты измерений ЭРОА радона в обитаемых помещениях зданий на первых и более высоких этажах зданий. Вместе с тем, отметим, что измерения в подвалах необходимы для планирования радонозащитных мероприятий в случае обнаружения превышений

нормативных значений ЭРОА радона на «обитаемых» этажах зданий.

Обследование помещений проводилось на всех этажах зданий, относящихся к группам по характеру использования: детские сады, школы, жилые дома, медицинские и иные учреждения. Всего обследовано 302 помещения. Подавляющую часть экспозиметров при повторном обследовании размещали по адресам ранее обследованных помещений. Таких помещений 266. В ряде объектов двухсезонные измерения проведены в нескольких помещениях на разных этажах.

Значения гамма-фона в обследованных помещениях, полученные с помощью дозиметров гамма-излучения при установке экспозиметров, находятся в интервале 0,07–0,14 мкЗв/ч, среднее значение составило 0,10 мкЗв/ч. Значимых отличий от типа и этажа зданий не выявлено.

Для оценки полноты выборки объектов обследования были построены распределения значений ЭРОА радона в помещениях как для каждой группы зданий, так и для всех помещений города (без различия назначения зданий). На рисунке 2 в качестве примера приведены распределения для 1 и 2 этажей всех зданий.



**Рис. 2.** Распределения значений ЭРОА радона для объединенных выборок всех обследованных помещений на 1 и 2 этажах зданий. Огибающие линии – логнормальные распределения, построенные по параметрам, определённым из значений данных выборок  
**[Fig.2.** Distribution of the values of EEC of radon for combined samples of all surveyed rooms on 1 and 2 floors of the buildings. Lines – lognormal distribution, which are constructed by parameters of these samples]

Из рисунка 2 следует, что:

- представленные распределения близки к логнормальным,
- практически все значения ЭРОА (даже с учётом 30% – погрешности) менее 200 Бк/м<sup>3</sup>,
- на всех распределениях есть значения ЭРОА более 200 Бк/м<sup>3</sup>, которые явно «выпадают» из рассматриваемых выборок.

Анализ показал, что все значения более 200 Бк/м<sup>3</sup> относятся к одному или двум техническим или малопосещаемым помещениям в каждом из трёх общественных зданий, средняя ЭРОА в которых по данным нашего обследования, составляет 100, 100 и 205 Бк/м<sup>3</sup>.

Согласно существующим требованиям<sup>2,3</sup>, здания не являются радиационно опасными, однако целесообразно провести их расширенное исследование. Все последующие расчеты и оценки выполнены без учета данных по этим зданиям, т.е. учитываются только результаты, полученные в помещениях остальных 62 зданий.

Более детально обобщённые результаты обследования помещений в г. Лесной представлены в таблице 2.

Значения среднегеометрических стандартных отклонений ЭРОА радона для всех помещений (без различения по этажам и без учета подвалов) в отдельных группах зданий г. Лесной представлены в таблице 3.

Таблица 2  
[Table 2]

**Обобщенные результаты измерений ЭРОА в отдельных группах зданий г. Лесной (без учета подвалов), Бк/м<sup>3</sup>**

**Generalized results of measurements of EEC in different groups of buildings in the city Lesnoy (without cellars), Bq/m<sup>3</sup>**

Назначение зданий [Function of the buildings]	Этаж [Floor]	Показатель [Parameter]	1			2			3			4		
			ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [HP]
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Детские сады [Kindergartens]		Количество измерений [Number of measurements]	24	23	23	22	15	15	-	-	-	-	-	-
		Интервал значений [Range]	21– 149	15– 110	19– 130	15– 75	15– 54	19– 60	-	-	-	-	-	-
		Среднеарифм. Значение [Arithmetical mean]	55	45	51	38	30	34	-	-	-	-	-	-
		Медиана [Median]	38	30	38	36	30	33	-	-	-	-	-	-
		Стандартное отклонение [Standard deviation]	38	33	31	14	12	11	-	-	-	-	-	-
Школы [Schools]		Количество измерений [Number of measurements]	12	11	11	8	8	8	5	5	5	1	1	0
		Интервал значений [Range]	15– 154	15– 165	15– 113	15– 62	15– 143	15– 102	23– 42	15– 30	25– 35	35	22	-
		Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	40	40	40	32	32	32	33	24	29	35	22	-
		Медиана [Median]	26	25	28	31	15	23	35	28	26	35	22	-
		Стандартное отклонение [Standard deviation]	41	45	35	19	46	30	8	9	4	-	-	-
Медицинские учреждения [Medical institutions]		Количество измерений [Number of measurements]	49	45	45	34	26	26	13	11	11	5	2	2
		Интервал значений [Range]	15– 199	15– 147	15– 142	15– 83	15– 69	15– 57	15– 179	15– 69	15– 124	36– 68	34– 43	36– 47
		Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	48	48	48	30	27	28	51	25	36	47	39	41
		Медиана [Median]	38	41	43	26	22	27	24	18	22	43	39	41
		Стандартное отклонение [Standard deviation]	37	33	30	18	20	13	55	21	37	13	6	7

Назначение зданий [Function of the buildings]	Этаж [Floor]	1			2			3			4		
		Показатель [Parameter]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]	СРГ [AA]	ОП [HP]	ТП [WP]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Жилые дома [Dwelling houses]	Количество измерений [Number of measurements]	21	20	20	8	8	8	2	2	2	4	4	4
	Интервал значений [Range]	15-124	15-81	15-80	15-57	15-30	15-41	15-22	< 15	< 15	15-39	15-27	15-26
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	36	30	34	27	18	22	17	8	12	21	15	18
	Медиана [Median]	28	26	29	27	18	23	17	8	12	18	13	17
	Стандартное отклонение [Standard deviation]	30	22	19	15	8	10	7	5	1	13	8	6
Иные Учреждения [Other institutions]	Количество измерений [Number of measurements]	13	12	12	5	5	5	-	-	-	-	-	-
	Интервал значений [Range]	28-127	15-167	33-137	34-65	15-101	24-83	-	-	-	-	-	-
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	69	75	79	49	54	56	-	-	-	-	-	-
	Медиана [Median]	78	67	102	65	52	56	-	-	-	-	-	-
	Стандартное отклонение [Standard deviation]	31	53	39	13	31	21	-	-	-	-	-	-

**Значения геометрических стандартных отклонений ЭРОА радона в помещениях (без учета подвалов), Бк/м<sup>3</sup>**  
 [Table 3  
 Values of geometric standard deviations of radon EEC in premises (without cellars), Bq/m<sup>3</sup>]

Геометрическое стандартное отклонение, отн. ед. [Geometric standard deviation, rel. units]					
	Детские сады [Kindergartens]	Школы [Schools]	Медицинские учреждения [Medical institutions]	Жилые дома [Dwelling houses]	Иные Учреждения [Other institutions]
Отопительный период [Heating period]	3,0	2,4	2,3	1,7	2,6
Тёплый период [Warm period]	2,0	3,2	2,9	1,9	4,4

Результаты определения ЭРОА в помещениях, представленные в таблице 2, относятся к группам зданий различного назначения ввиду возможного влияния различных режимов их эксплуатации. Максимальное количество этажей в общественных зданиях – 4, в жилых – 9. Однако в данную таблицу не включены данные для помещений в жилых домах на 5–9 этажах. Это объясняется тем, что в процессе первого выборочного обследования было выявлено, что интервал полученных значений ЭРОА радона

в помещениях составляет 7–34 Бк/м<sup>3</sup>, а среднеарифметическое значение – 23 Бк/м<sup>3</sup>. При этом не выявлено каких-либо различий ЭРОА радона для этажей выше третьего. В связи с этим было принято решение о нецелесообразности расширения объема измерений на верхних этажах в рамках данных сезонных обследований.

Обращает на себя внимание, что, вопреки устойчивому мнению, не наблюдается преобладающего превышения «зимних» значений ЭРОА над «летними».



Например, в группе «Иные учреждения» наблюдается даже обратная зависимость.

Из таблицы 2 можно видеть, что наиболее высокие значения имеют верхние границы интервалов значений ЭРОА радона для медицинских и иных учреждений, но и они не превышают 200 Бк/м<sup>3</sup>. Средние среднегодовые значения ЭРОА радона для детских садов, школ, жилых домов и медицинских учреждений находятся в интервале 34–51 Бк/м<sup>3</sup> и только для учреждений достигают 79 Бк/м<sup>3</sup>.

Средние значения ЭРОА радона по всем помещениям города Лесное составили: для отопительного периода 46 Бк/м<sup>3</sup>, для тёплого – 38 Бк/м<sup>3</sup>, среднегодовая – 42 Бк/м<sup>3</sup>.

На основании результатов измерений в помещениях были рассчитаны также средние значения ЭРОА радона по отдельным обследованным зданиям. Показано, что

значения ЭРОА радона (за исключением трёх упомянутых выше зданий) в отопительный, тёплый периоды и в среднем за год находятся в интервале 15–122, 15–104 и 15–90 Бк/м<sup>3</sup> соответственно. Средние значения по совокупности зданий составляют 41, 36 и 39 Бк.

На рисунке 3 показаны в графическом виде межэтажные соотношения значений ЭРОА радона в помещениях зданий различного назначения (отн. ед.) в различные периоды года, а также в среднем по году.

Из рассмотрения диаграмм следует, что как для отдельных периодов, так и в среднем по году отношение средних значений ЭРОА радона в помещениях на вторых этажах по отношению к первым этажам зданий разных групп зданий составляет 0,6–0,8. Монотонность убывания отношений нарушается для разных групп зданий для третьих – четвёртых этажей. Выше было отмечено, что для более высо-

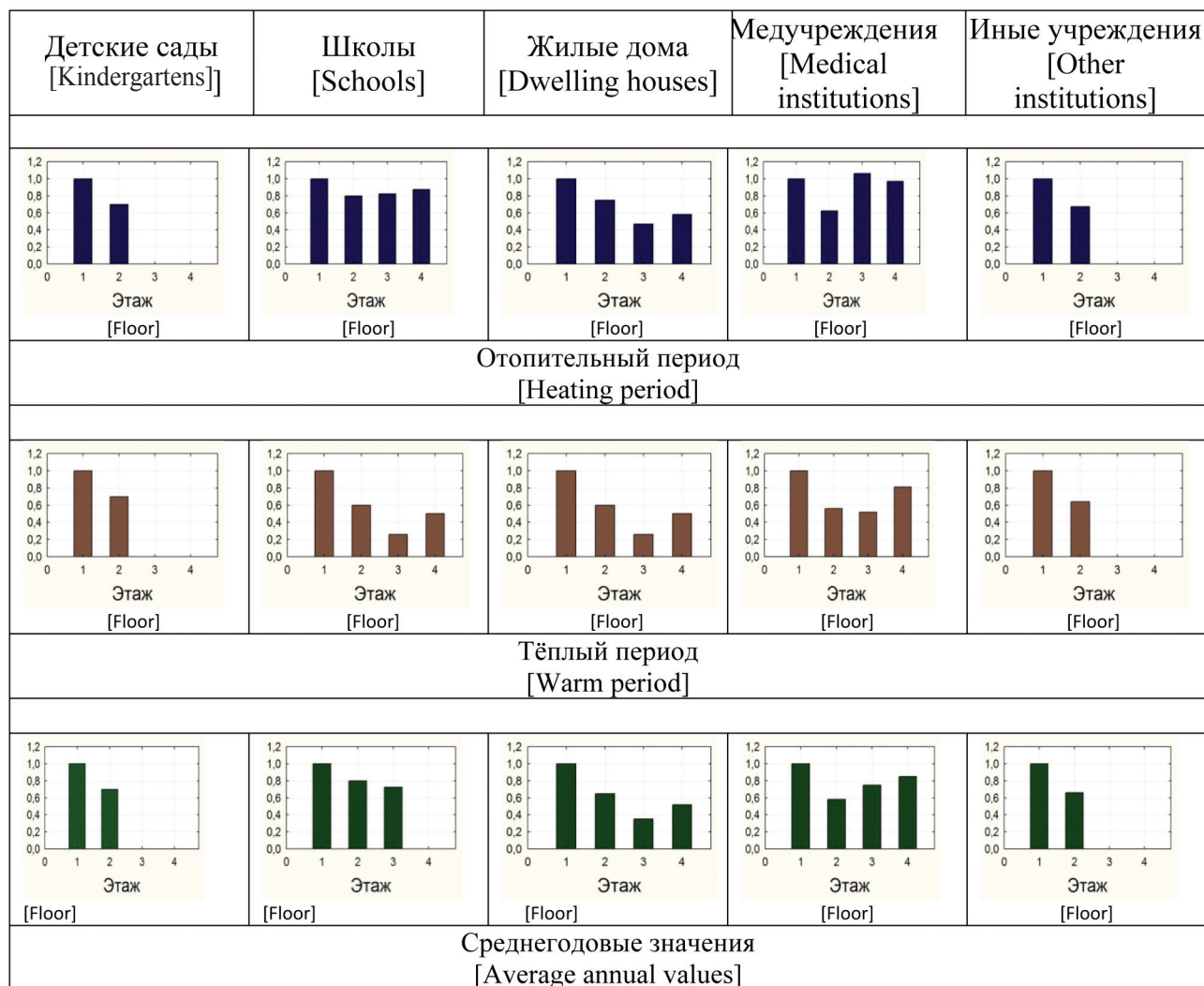


Рис. 3. Межэтажные соотношения значений ЭРОА радона в помещениях зданий различного назначения (отн. ед.) в различные периоды года

[Fig.3. The ratio of the values of EEC of radon in rooms on different floors in the buildings with different function]

ких этажей (только жилые дома) ЭРОА радона вообще не зависит от этажа. Это можно объяснить как малой статистикой измерений в помещениях на верхних этажах, так и в среднем относительно невысокими значениями ЭРОА, характерными для большинства зданий города.

Сравнение групп значений средних ЭРОА радона по городу (см. табл. 2) показывает, что они в достаточной степени совпадают. Эти значения можно рассматривать как верхнюю оценку реальных средних значений ЭРОА радона в городе, т.к. она не учитывает, что большинство населения города живет выше первого – второго этажей, и следовательно, в помещениях длительного пребывания большинства жителей ЭРОА радона ниже, чем в большинстве обследованных нами помещений. Межэтажные соотношения средних значений ЭРОА радона в совокупности с демографическими и градостроительными характеристиками (состав жилого фонда, количество населения, проживающего на разных этажах и т.д.) в дальнейшем могут быть использованы для уточнения доз облучения на-

селения города природными источниками ионизирующих излучений.

Данные, полученные при обследовании всех помещений, были использованы также для выявления зависимости содержания радона в помещениях зданий, построенных из различных материалов. Большинство обследованных нами зданий – кирпичные и шлакоблочные. Оценки показали, что в помещениях кирпичных домов содержание радона в среднем меньше, чем в шлакоблочных: диапазоны значений ЭРОА радона – 15–188 и 15–235 Бк/м<sup>3</sup>, средние среднегодовые значения ЭРОА радона – 41 и 54 Бк/м<sup>3</sup> соответственно.

На основании полученных среднесезонных и среднегодовых значений ЭРОА радона в соответствии с соотношениями (4) – (6) были рассчитаны значения сезонных и годовых индивидуальных доз от радона для всех обследованных жилых помещений. Значения доз в жилых помещениях, усредненные по группам зданий, представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Обобщенные результаты оценки индивидуальных среднегодовых доз облучения в помещениях отдельных групп зданий г. Лесной, мЗв/год**

[Table 4

**Generalized results of assessing of average annual personal dose of exposure in rooms of different groups of buildings in the city Lesnoy, mSv/year]**

Назначение зданий [Function of the buildings]	Показатель [Parameter]	Этаж [Floor]				Среднее по зданию [Average in building]
		1	2	3	4	
1	2	3	4	5	6	7
Детские сады [Kindergartens]	Количество измерений [Number of measurements]	23	15	-	-	14*
	Интервал значений [Interval of values]	1,3-8,3	1,3-3,9	-	-	1,5-5,2
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	3,3	2,3	-	-	2,9
Школы [Schools]	Медиана [Median]	2,5	2,2	-	-	2,5
	Количество измерений [Number of measurements]	10	8	4	-	4*
	Интервал значений [Interval of values]	0,5-7,3	0,6-6,7	1,7-2,3	-	1,9-2,6
Медицинские учреждения [Medical institutions]	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	2,5	2,1	1,9	-	2,2
	Медиана [Median]	1,7	1,6	1,7	-	2,2
	Количество измерений [Number of measurements]	45	27	12	2	18*
	Интервал значений [Interval of values]	0,7-9,1	0,6-3,7	0,7-8,0	2,4-3,1	0,7-5,4
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	3,1	1,8	2,5	2,7	2,7
	Медиана [Median]	2,86	1,76	1,67	2,7	2,5

Назначение зданий [Function of the buildings]	Показатель [Parameter]	Этаж [Floor]				Среднее по зданию [Average in building]
		1	2	3	4	
1	2	3	4	5	6	7
Жилые дома [Dwelling houses]	Количество измерений [Number of measurements]	20	8	2	4	19*
	Интервал значений [Interval of values]	1,0-5,1	0,8-2,7	0,8-0,9	0,8-1,8	0,9-4,8
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	2,2	1,5	0,9	1,2	1,8
	Медиана [Median]	1,9	1,5	0,9	1,2	1,5
Иные учреждения [Other institutions]	Количество измерений [Number of measurements]	12	5	-	-	5*
	Интервал значений [Interval of values]	2,2-8,8	1,7-5,4	-	-	1,9-5,9
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	5,4	3,6	-	-	4,0
	Медиана [Median]	6,5	3,6	-	-	4,2

\*Количество зданий  
[Number of buildings]

Таким образом, дозы во всех обследованных помещениях не превышают 10 мЗв/год, а средние значения доз для большинства групп зданий (детские сады, школы, жилые дома, медицинские учреждения) находятся в интервале 2–3 мЗв/год, и только для группы «Иные учреждения» – достигают 4 мЗв/год.

Следует отметить, что в соответствии с МУ 2.4.1.1088-02<sup>9</sup> при расчете дозы общая доля времени нахождения людей в помещениях в течение суток принимается равной 0,8 (т.е. 19,2 ч/сут). Однако использование этой доли времени не будет правомерно даже для персонала медицинских учреждений, находящегося на суточном дежурстве, или пациентов стационаров. Тем более это относится к учащимся и персоналу образовательных учреждений, которые находятся в этих зданиях максимум по 12 ч/сут, а остальное время проводят в иных зданиях. Поэтому представленные значения доз облучения для детских и медицинских учреждений следует рассматривать как наиболее консервативную оценку.

В таблице 5 представлены результаты оценки индивидуальной средней среднегодовой дозы облучения радоном для города в целом, которые получены двумя способами:

- способ 1 – усреднение результатов измерений для всех обследованных помещений,
- способ 2 – усреднение результатов оценок средних доз облучения в каждом из обследованных зданий.

Таблица 5

**Обобщенные результаты оценки средней индивидуальной среднегодовой дозы облучения в помещениях г. Лесной, мЗв/год**

[Table 5]

**Generalized results of assessing of average annual personal dose of exposure in rooms in Lesnoy, mSv/year**

Способ оценки [Method of assessing]	Интервал значений среднегодовых доз в помещениях/зданиях, мЗв/год [Interval of values of average personal doses of exposure in rooms/in buildings, mSv/year]	Среднее значение дозы, мЗв/год [Average value of dose, mSv/year]
1	0,5–5,9	2,7
2	0,5–6,5	2,7

<sup>9</sup> МУ 2.6.1.1088-02. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. – Минздрав России, Москва, 2002. [Methodic guidelines 2.6.1.1088-02 Assessment of the individual effective doses of the public from natural sources of ionizing radiation. Ministry of healthcare of the Russian Federation, Moscow, 2002. (In Russian)]

Сравнение значений средней среднегодовой дозы облучения радоном, полученных двумя способами, совпадают. Значение 2,7 мЗв/год можно рассматривать как верхнюю оценку реального значения дозы от радона в городе, т.к. она не учитывает, что большинство населения города живет выше первого-второго этажей, и следовательно, в помещениях длительного пребывания большинства жителей ЭРОА радона ниже, чем в большинстве обследованных нами помещений.

**Посёлок Горный.** Обследовано 4 здания: два детских сада, школа и медучреждение. Измерения в подвалах не проводились. Результаты представлены в таблице 6.

Из таблицы 6 следует, что по данным нашего обследования в здании медицинского учреждения содержание радона не соответствует действующим требованиям радиационной безопасности. Однако решение о радонной реабилитации этого здания целесообразно принимать только после проведения дополнительного углубленного обследования.

Рекомендуется, исходя из того, что одно из трёх обследованных зданий не соответствует требованиям радиационной безопасности, провести более объемное выборочное радоновое обследование посёлка.

Оценки индивидуальных среднегодовых доз составили 2,4, 3,0 и 13,1 мЗв/год при пребывании в зданиях детских садов, школы и медицинского учреждения соответственно. Отметим, однако, что по причинам, указанным выше, приведенные значения следует рассматривать в качестве консервативной оценки.

**Посёлок Чащовита.** В посёлке Чащовита проведено по три измерения в каждом сезоне в здании детского сада. Интервал полученных значений ЭРОА радона в помещениях составляет 15 – 22 Бк/м<sup>3</sup>, среднее значение по зданию – 17 Бк/м<sup>3</sup>, доза от радона менее 1 мЗв/год. В радиационном отношении здание является абсолютно безопасным.

Таблица 6

**Обобщенные результаты измерений ЭРОА в зданиях пос. Горный, Бк/м<sup>3</sup>**

[Table 6

**Summary of the results of the measurements of equilibrium equivalent volume activity in buildings of Gorniy township, Bk/m<sup>3</sup>**

Назначение зданий [Function of the buildings]	Этаж [Floor]	1		2		3		Среднегодовые ЭРОА по зданиям, мЗв/год [Average annual value of ECC in buildings, mSv/year]
		ОП [HP]	ТП [WP]	ОП [HP]	ТП [WP]	ОП [HP]	ТП [WP]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Количество измерений [Number of measurements]	5	5	4	2			
Детские сады [Kindergartens]	Интервал значений [Interval of values]	15-58	26-68	22-58	15, 25			36
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	34	43	36	20			
	Количество измерений [Number of measurements]	4	4	2	1	2	2	
Школа [Schools]	Интервал значений [Interval of values]	30-91	53-73	42-66	16	28, 41	18-38	46
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	55	66	25	16	34	28	
	Количество измерений [Number of measurements]	8	4	3	1			
Медицинское учреждение [Medical institutions]	Интервал значений [Interval of values]	74-264	84-661	113, 179	195			206
	Среднеарифметическое значение [Arithmetical mean]	137	290	146	195			



### Заключение

В соответствии с действующими нормативными документами<sup>10,11,12</sup> 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; от 5 до 10 мЗв/год – облучение населения является повышенным; более 10 мЗв/год – облучение населения является высоким. Мероприятия по снижению уровней облучения природными источниками излучения должны осуществляться в первоочередном порядке для групп населения, подвергающихся облучению в дозах более 10 мЗв/год.

Из данных таблицы 4 следует, что в целом ЭРОА радона и дозы облучения в г. Лесной не превышают значения приемлемого уровня облучения населения от природных источников излучения.

Однако, с учетом того, что детские учреждения требуют особого внимания, целесообразно обратить внимание на учреждения, в частности школы, где средняя доза составляет 3–4 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 жилых зданиях и медицинских учреждениях г. Лесной в целом вполне приемлемая. Вместе с тем, как отмечено в данной работе, в нескольких учреждениях ЭРОА радона имеют повышенные значения, и средняя доза от радона находится в интервале 5–10 мЗв/год. Целесообразно повторить детальное обследование этих учреждений, вычленив при этом только помещения длительного пребывания персонала и посетителей (более 2 ч в сутки).

В настоящее время отсутствует общепринятый подход к оценке остроты «радоновой ситуации» по результатам выборочных обследований населенных пунктов. Для предварительных выводов по результатам обследований в работе [8] предложено сопоставить средние значения ЭРОА радона по населенным пунктам  $\overline{ЭРОА}_{ин}$  с интервалами, кратными среднему значению ЭРОА радона в воздухе зданий и сооружений в Российской Федерации  $\overline{ЭРОА}_{рф}$ . В качестве значения  $\overline{ЭРОА}_{рф}$  было принято 27 Бк/м<sup>3</sup>, полученное на основе усреднения данных Государственных докладов о санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации за 1997–2007 г. г. [14].

Отнесение населенного пункта по значению  $\overline{ЭРОА}_{ин}$  к тому или иному интервалу определяет цель, характер и объем последующих работ, направленных на снижение облучения населения радоном. При консервативном подходе по результатам нашего обследования город Лесной можно отнести к интервалу от  $\overline{ЭРОА}_{рф}$  до 2  $\overline{ЭРОА}_{рф}$ . В данном случае на фоне в целом благополучной обстановки, остается задача выявления отдельных помещений с высокими значениями ЭРОА, обусловленными геологическими условиями в разных частях города. Такого типа обследования с использованием интегральных методов определения содержания радона в помещениях целесообразно планировать в рамках проводимого регулярного социально-гигиенического мониторинга.

Обследование всего нескольких зданий в поселках Горный и Чащовита, входящих в городской округ «Город Лесной», указывает на возможно неблагоприятную радиационную обстановку, обусловленную природными источниками, в посёлке Горном. Для уточнения ситуации целесообразно провести выборочные обследования большего объёма.

*Авторы благодарны руководству ФМБА России, без внимания и помощи которого данная работа была бы невозможна.*

### Литература

1. UNSCEAR, 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly United Nations: Vol. 1, Annex B, New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
2. Маренный, А.М. Закономерности формирования радонового поля в геологической среде / А.М. Маренный, А.А. Цапалов, П.С. Микляев, Т.Б. Петрова. - М.: Перо, 2016. - 394 с.
3. Жуковский, М.В. Радоновая безопасность зданий / М.В. Жуковский, А.В. Кружалов, В.Б. Гурвич, И.В. Ярмошенко. - Екатеринбург: УрО РАН, 2000. - 180 с.
4. Гулябнц, Л.А. Пособие по проектированию противорадоновой защиты жилых и общественных зданий / Л.А. Гулябнц. - М.: НО «ФЭН-НАУКА», 2013. - 52 с.
5. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126, Ann. ICRP 43 (3), 2014.
6. Маренный, А.М. Проблема облучения населения от природных источников ионизирующих излучений / А.М.

<sup>10</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09) утв. и введены в действие от 07.07.09 г. – Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с. [Norms of the radiation safety (NRB 99/2009): Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rosпотребнадzor, 2009, 100 p. (In Russian)]

<sup>11</sup> СанПиН 2.6.1.2800-10. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет источников ионизирующего излучения: Санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. [SanPiN 2.6.1.2800-10. [Hygienic requirements on the limitation of the exposure of the public from the natural sources of ionizing exposure. Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2800-10. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rosпотребнадzor, 2011, 40 p. (In Russian)]

<sup>12</sup> СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. [Basic sanitary rules of the provision of the radiation safety (OSPORB 99/2010): Sanitary rules and norms SP2.6.1.2612-10. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rosпотребнадzor, 2010, 83 p. (In Russian)]

- Маренный // Инф. Бюлл. «Ядерная и радиационная безопасность России». – 2002. - вып. 2 (5). - с. 36-63.
7. Киселев, С.М. Радон. От фундаментальных исследований к практике регулирования / С.М. Киселев, М.В. Жуковский, И.П. Стамат, И.В. Ярмошенко. – М.: ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2016. - 350 с.
  8. Губин, А.Т. Обследование территорий, обслуживаемых ФМБА России, на содержание радона в помещениях / А.Т. Губин [и др.] // Медицина экстремальных ситуаций. – 2012. - № 4 (42). - С. 77–88.
  9. Маренный, А.М. Проведение обследований зданий различного назначения на содержание радона на территориях, обслуживаемых ФМБА России / А.М. Маренный [и др.] // Радиационная гигиена. – 2015. - Т. 8, № 1. - С. 23-29.
  10. Цапалов, А.А. Принципы радонового контроля в помещениях зданий / А.А. Цапалов, А.М. Маренный // АНРИ. – 2014. - №1. - С. 6-15.
  11. Маренный, А.М. Методические аспекты измерений средней объемной активности радона в помещениях интегральным трековым методом / А.М. Маренный // АНРИ. – 2012. - №4. - С. 13-19.
  12. Пенезев, А.В. База данных результатов измерений радона и возможности графических программ для их анализа / А.В. Пенезев [и др.] // В сб. тезисов конференции «Актуальные вопросы радиационной гигиены», Санкт-Петербург, 7-9 июня 2010 г. – СПб., 2010. - С. 112-113.
  13. Маренный, А.М. Обследование города Краснокаменск на содержание радона в помещениях / А.М. Маренный [и др.] // Радиационная гигиена. – 2013. - Т.6, № 3. - С. 47 – 52.
  14. Губин, А.Т. Анализ динамики ЭРОА радона по данным государственного доклада о санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации за период 1996-2007 гг. / А.Т. Губин, В.А. Сакович, Ф.М. Киселев // АНРИ. – 2009. – № 4. - С. 21-28.

Поступила: 22.06.2018 г.

**Маренный Альберт Михайлович** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией природных источников ионизирующих излучений Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства. **Адрес для переписки:** 123182, Москва, ул. Щукинская, д. 40; E-mail: amarennyy@yandex.ru

**Киселёва Марина Евгеньевна** – заведующая лабораторией химических, физических, радиологических факторов Центра гигиены и эпидемиологии № 91 Федерального медико-биологического агентства, Лесной, Россия

**Нефёдов Николай Александрович** – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

**Сутягина Галина Ивановна** – заведующий лабораторным отделом Центра гигиены и эпидемиологии № 91 Федерального медико-биологического агентства, Лесной, Россия

**Карл Лидия Эдуардовна** – младший научный сотрудник Научно-технического центра радиационно-химической безопасности и гигиены Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

**Для цитирования:** Маренный А.М., Киселева М.Е., Нефёдов Н.А., Сутягина Г.И., Карл Л.Э. Обследование зданий города Лесной на содержание радона в помещениях // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 3. – С. 92-106. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-92-106.

## Survey of buildings in the city Lesnoy on the indoor radon concentration

Albert M. Marennyy<sup>1</sup>, Marina E. Kiseleva<sup>2</sup>, Nikolay A. Nefedov<sup>1</sup>, Galina I. Sutiagina<sup>2</sup>, Lidiya E. Karl<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene, Federal Medical-Biological Agency, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Center of Hygiene and Epidemiology № 91, FMBA of Russia, Lesnoy, Russia

*Survey of the buildings in the Lesnoy city, Sverdlovsk region, on the indoor radon were performed. Measurements of radon volume activity were carried out by integral method using radon track exposimeters REI-4. Exposimeters were installed for measurements at 2–4 months in the heating and warm periods of the year in the same premises. 17 kindergartens, 7 schools, 20 dwelling houses, 22 medical institutions and 3 other institutions were surveyed. The values of the equivalent equilibrium concentration of radon and indoor radon doses are obtained. The results of determining the radon equivalent equilibrium concentration in the premises on different floors of buildings belonging to different groups in the heating and warm period of the year, as well as the estimated average annual values of equivalent equilibrium concentration are presented. Average annual values of equivalent equilibrium concentration for kindergartens, schools, dwellings houses and medical institutions are in the range of 34–51 Bq/m<sup>3</sup>, and only for other institutions reach 79 Bq/m<sup>3</sup>. Average values of equivalent equilibrium concentration for all premises of the city Lesnoy were: for the heating period – 46 Bq/m<sup>3</sup>, for warm – 38 Bq/m<sup>3</sup>, average annual – 42 Bq/m<sup>3</sup>. It is shown that both for separate periods and for the annual the ratio of average equivalent equilibrium concentration values in the rooms on the second floors in relation to the first floors of different groups buildings is 0.6–0.8. For higher floors of dwellings houses*

*the radon equivalent equilibrium concentration values does not depend on the floor. This can be explained by both the small statistics of measurements in the rooms on the upper floors and the relatively low values of equivalent equilibrium concentration, that is typical for most buildings of the city. The estimates showed that the average radon concentration in brick houses is less than in slag-block houses: the values of radon equivalent equilibrium concentration – 6 – 188 and 10 – 235 Bq/m<sup>3</sup>, the average annual values – 41 and 54 Bq/m<sup>3</sup>, respectively. Conservative estimates of annual doses of radon in all the surveyed premises do not exceed 10 mSv/year, and the average annual doses for most groups of buildings (kindergartens, schools, dwelling houses, medical institutions) are in the range of 2 – 3 mSv/year, and only for the group «Other institutions» – up to 4 mSv/year.*

**Key words:** survey, volume radon activity, EEC, dose, premises, dwellings, public buildings, town, radiation safety.

## References

1. UNSCEAR, 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly United Nations: Vol. 1, Annex B, New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.
2. Marennyy A.M., Tsapalov A.A., Miklyaev P.S., Petrova T.B. Patterns of the radon field in a geological environment. Moscow, Pero, 2016, 394 p. (in Russian).
3. Zhukovsky M.V., Kruzhalov A.V., Gurvich V.B., Yarmoshenko I.V. Radon safety of the buildings. Ekaterinburg, UrORAN, 2000, 180 p. (in Russian).
4. Gulabyants L.A. A handbook on the design of the anti-radon protection of the living and public buildings. Moscow, NO «FEN-NAUKA», 2013, 52 p. (in Russian).
5. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126, Ann. ICRP 43 (3), 2014.
6. Marennyy A.M. Problems of the exposure of the public from natural sources of ionizing exposure. Informatsionnyy Bulletin «Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost Rossii» = Information bulletin «Nuclear and radiation safety of Russia», 2002, 2(5), pp. 36-63 (in Russian).
7. Kiselev S.M., Zhukovsky M.V., Stamat I.P., Yarmoshenko I.V. Radon. From fundamental studies to regulatory practice. Moscow, GNC FMBC im A.I. Burnazyan, 2016, 350 p. (in Russian).
8. Gubin A.T., Marennyy A.M., Sakovich V.A. [et al.]. A survey of the territories supervised by FMBA of Russia on the radon concentration in habitats. Meditsina ekstremalnykh situatsiy = Medicine of extreme situations, 2012, №4(42), pp. 77-88 (in Russian).
9. Marennyy A.M., Romanov V.V., Astafurov V.I., Gubin A.T., Kiselev S.M., Nefedov N.A., Penesov A.V. Survey for indoor radon in dwellings on the territories supervised by FMBA of Russia. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2015, vol. 8, No1, pp. 23-29 (in Russian).
10. Tsapalov A.A., Marennyy A.M. Principles of radiation control in the habitats. ANRI = ASAP, 2014, №1, pp. 6-15 (in Russian).
11. Marennyy A.M. Methodical aspects of the measurement of the mean volume activity of radon in the housings using integral track method. ANRI = ASAP, 2012, №4, pp.13-19 (in Russian).
12. Penezov A.V., Astafurov V.I., Vereshchagin O.A. [et al.]. Database of the results of radon measurement and opportunities of graphical software for their analysis. Proceedings of the conference «Topical issues of radiation hygiene». Saint Petersburg, 2010, pp. 112-113 (in Russian).
13. Marennyy A.M., Kiselev S.M., Titov A.V. [et al.]. Survey in Krasnokamensk city on the content of indoor radon. Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene, 2013, Vol. 6, No 3, pp. 47-52 (in Russian).
14. Gubin A.T., Sakovich V.A., Kiselev F.M. Analysis of the dynamics of EEVA based on the data of the state report on sanitary-epidemiological situation in the Russian Federation in 1996-2007. ANRI = ASAP, 2009, No 4, pp. 21-28 (in Russian).

Received: June 22, 2018

**For correspondence: Albert M. Marennyy** - PhD, Professor, Head of Laboratory of Natural Sources of Ionizing Radiation, Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center of Radiation-Chemical and Hygiene of the FMBA of Russia (Shchukinskaya Str., 40, Moscow, 123182, Russia; E-mail: amarennyy@yandex.ru)

**Marina E. Kiseleva** - Head of the Laboratory of Chemical, Physical, and Radiological Factors of the Hygiene and Epidemiology Center № 91 of the FMBA of Russia, Lesnoy, Russia

**Nikolay A. Nefedov** - PhD, Leading Researcher of Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center of Radiation-Chemical and Hygiene of the FMBA of Russia, Moscow, Russia

**Galina I. Sutiagina** - Head of laboratory Department of the Hygiene and Epidemiology Center № 91 of the FMBA of Russia, Lesnoy, Russia

**Lidiya E. Karl** - Junior researcher of Federal State Unitary Enterprise Research and Technical Center of Radiation-Chemical and Hygiene of the FMBA of Russia, Moscow, Russia

**For citation: Marennyy A.M., Kiseleva M.E., Nefedov N.A., Sutiagina G.I., Karl L.E. Survey of buildings in the city Lesnoy on the indoor radon concentration. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No 3, pp. 92-106. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-3-92-106.**

**Albert M. Marennyy**

Research and Technical Center of Radiation-Chemical Safety and Hygiene

**Address for correspondence:** Shchukinskaya Str., 40, Moscow, 123182, Russia; E-mail: amarennyy@yandex.ru