

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДОНОВОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ, ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ СБРОСА РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В РЕКУ ТЕЧА

ФГБУН «Институт промышленной экологии УрО РАН», 620219, Екатеринбург

На протяжении многих лет специалисты проводят медицинские и дозиметрические наблюдения населения, подвергшегося облучению в результате радиоактивных сбросов в реку Теча. Исследования когорты реки Теча выявили избыточные случаи лейкозов и солидных опухолей, связанных с радиационным воздействием. При этом радиационное воздействие естественных источников излучения, в частности радона и его дочерних продуктов распада, которое является одним из важнейших негативных радиационных факторов для здоровья человека, в достаточной мере не было изучено на данной территории. Цель проведенного исследования – установить среднюю величину и параметры распределения объемной активности (ОА) радона в населенных пунктах, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Радоновое обследование проведено в 14 сельских населенных пунктах, расположенных на реке Теча на территории Челябинской и Курганской областей. В выборку были включены 511 жилищ. Для измерения объемной активности радона в воздухе использованы интегральные трековые детекторы на основе чувствительного материала LR-115 Кодак. Анализ выборки жилищ, сформированной на основе случайного подхода, показал, что она является представительной и позволяет оценить уровни облучения населения территории. Средняя ОА радона в жилых помещениях составила 150 Бк/м³, что обуславливает годовую эффективную дозу облучения 11 мЗв. Можно прогнозировать, что норматив ЭРОА радона 200 Бк/м³ превышен в 5% жилых домов. По результатам измерений, превышение норматива установлено в 19 помещениях. Установлены факторы, влияющие на уровень накопления радона в помещениях. Доза облучения за счет ингаляции радона, накопленная за продолжительный период времени, в целом сопоставима с дозами, полученными в период 1949–1956 гг. в ходе сбросов жидких радиоактивных отходов в реку Теча.

Ключевые слова: радон; радоновое обследование; доза; река Теча.

Для цитирования: Васильев А.В., Малиновский Г.П., Онищенко А.Д., Ярмошенко И.В. Результаты радонового обследования населенных пунктов, пострадавших в результате сброса радиоактивных отходов в реку Теча. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(5): 418-421. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-418-421>

Vasilyev A.V., Malinovsky G.P., Onishchenko A.D., Yarmoshenko I.V.

RESULTS OF RADON INSPECTION OF SETTLEMENTS COMPROMISED DUE TO DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE INTO THE TECHA RIVER

Institute of Industrial Ecology, Ekaterinburg, 620219, Russian Federation

During past decades, specialists perform an epidemiological observation of the population exposed to the impact of radioactive discharges into the Techa River. The Techa River cohort studies have identified excess cases of leukemia and solid cancers associated with radiation exposure. At the same time natural sources of radiation, such as radon and its decay products, known to be significant human radiation exposure factor, are not sufficiently studied on this territory. The purpose of the study is to assess the mean value and the distribution indices of radon concentration in 14 settlements affected by radioactive contamination. Radon inspection in settlements located on the Techa River (Chelyabinsk and Kurgan regions) was executed. The measurements were performed in 511 dwellings. For radon inspection there were applied detectors based on LR-115 Kodak Track. The analysis shows the sample both to be representative and allow to estimate radon exposure for inhabitants. The average radon concentration in dwellings is 150 Bq/m³, which results in an annual effective dose of 11 mSv. The estimated number of dwellings with radon concentrations above ECC radon action level 200 Bq/m³ is 19. The factors affecting indoor radon accumulation were established. The radiation dose due to the inhalation of radon, accumulated over a long period of time, seems to be generally comparable to doses associated with the radioactive discharges into the Techa River during the 1949-1956.

Key words: radon; radon survey; dose; Techa River.

For citation: Vasilyev A.V., Malinovsky G.P., Onishchenko A.D., Yarmoshenko I.V. Results of radon inspection of settlements compromised due to disposal of radioactive waste into the Techa River. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(5): 418-421. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-5-418-421>

For correspondence: Aleksey V. Vasilyev, researcher of the radiation laboratory of the Institute of Industrial Ecology, Ekaterinburg, 620219, Russian Federation. E-mail: vav@ecko.uran.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the scientific project No. 16-38-00141.

Received: 06 April 2016

Accepted: 04 October 2016

Введение

Первое предприятие по производству оружейного плутония в Советском Союзе, сейчас известное как ПО «Маяк», было запущено в 1949 г. В период 1949–1956 гг. предприятие сбрасывало жидкие радиоактивные отходы в реку Теча. В результате произошло радиоактивное загрязнение воды, донных отложений, гидробионтов и пойменных территорий [1]. Жители прибрежных населенных пунктов подверглись внутреннему облучению в результате поступления радионуклидов с питьевой водой и продуктами питания местного производства. Расчеты, проведенные специалистами, показали, что накопленные дозы на костный мозг составили в среднем 0,4 Гр, максимум до 9 Гр, на мягкие ткани – 0,035 и 0,5 Гр соответственно [2–5]. Наблюдение за состоянием здоровья и анализ причин смерти жителей прибрежных населенных пунктов (когорты реки Теча) в течение нескольких десятилетий вели специалисты Уральского научно-практического центра радиационной медицины (УНПЦ РМ) [5]. Проведенные исследования выявили рост смертности от лейкозов и солидных опухолей, связанный с радиационным воздействием [6–9].

Радон и его дочерние продукты распада (ДПР) являются важным природным источником облучения населения [10]. По данным Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ), при объемной активности радона 40 Бк/м³, что соответствует среднемировой величине, эффективная доза облучения составляет 2,3 мЗв в год [11]. В большинстве случаев именно облучение ДПР радона определяет радиационную обстановку на территории [12]. Несмотря на роль, которую радон играет в формировании доз облучения населения, его воздействие на жителей населенных пунктов на реке Теча не было изучено в достаточной мере.

Достоверная оценка среднего уровня облучения населения территории и параметров распределения этой величины, а также определение основных признаков радоноопасности могут быть выполнены в результате проведения представительного выборочного радонового обследования. Базовые требования к организации и проведению радонового обследования выдвигались основоположником исследований по радоновой тематике в России Э.М. Кривошом в 1980-х годах и другими учеными за рубежом (обзор методов представлен МАГАТЭ в публикации [13]). Эти требования включают: 1) создание представительной выборки жилищ; 2) проведение измерений среднегодовой объемной активности радона в жилищах с использованием единой методики.

В настоящей статье представлены итоги проведения выборочного радонового обследования населенных пунктов, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате сброса активных отходов в реку Теча, целью которого было установить среднюю величину и параметры распределения ОА радона.

Материал и методы

Измерения ОА радона проведены в 511 помещениях 14 населенных пунктов Челябинской и Курганской областей: п. Муслюмово, с. Бродокалмак, с. Русская Теча, с. Нижнепетропавловское, с. Лобаново, д. Анчугово, д. Казанцева, с. Верхняя Теча, д. Бугаево, с. Шутихинское, д. Бисерова, с. Першинское, с. Ключевское, с. Затеченское. В выборку жилищ вошло не менее 10% домов в каждом населенном пункте. В пос. Муслюмово измерения проведены в основном в новых домах, построенных после 2005 г., – в так называемом Новом Муслюмово. Эта группа домов принципиально отличается от остальных сел и деревень по типу конструкции, строительным материалам и т.д. При оценке факторов, влияющих на накопление радона, Муслюмово рассмотрено как отдельная группа. Представительность выборки жилищ по основным типам зданий обеспечена на основе применения принципа случайного отбора объектов.

Для измерений использовали интегральные трековые радоновые экспозиметры РЭИ-4 с детектирующим материалом LR-115 Кодак. Подсчет треков проводили с помощью автоматического искрового счетчика АИСТ-2. Лабораторную обработку детекторов проводили в Радиационной лаборатории ИПЭ

УрО РАН. Срок экспонирования детекторов составил не менее 2-х мес. Интегральные методы измерения с применением трековых детекторов имеют ряд преимуществ для проведения радонового обследования – низкая погрешность метода измерения, надежность конструкции, невысокая стоимость измерения, возможность проведения долгосрочных измерений, возможность проведения массовых измерений.

Для регистрации характеристик помещения была разработана специальная анкета (регистрационная карточка). В анкету для каждого помещения заносили следующие данные: расположение исследуемого объекта; координаты; тип здания (сельский дом, многоквартирное здание и т.п.); количество этажей в здании; численность проживающих; этаж измерения; тип помещения (жилая комната, спальня или др.); год постройки здания; материал стен; тип и материал внутренней отделки; тип и материал межэтажных перекрытий; наличие и материал утеплителя; тип окон; тип отопления; номер радиометра радона, дата установки, дата снятия.

Для перехода от ОА к эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) коэффициент равновесия принимали равным 0,5 [14].

Для оценки эффективных доз облучения от ингаляционного поступления ДПР радона в жилищах использован коэффициент, связывающий ЭРОА радона и эффективную дозу, приведенный в Докладе 126 МКРЗ (13 мЗв/WLM). При расчете принято, что в течение года человек проводит в жилищах 7000 часов [11].

Среднесуточная температура за период проведения измерений составила 5 °С, что примерно соответствует среднегодовой температуре за продолжительный период наблюдений. Таким образом, данные по ОА радона, полученные за этот период, не требуют сезонной нормализации для оценки среднегодовой ОА радона.

Результаты

По результатам обработки регистрационных карточек были выявлены следующие особенности выборки жилищ населенных пунктов, расположенных на реке Теча:

- большую часть жилищ занимают одинокие или семьи из двух человек;
- в основном дома были построены в период 1970–1989 гг. Доля старых домов, построенных до 1949 года, составила 13%;
- в сельских населенных пунктах региона большинство зданий составляют деревянные дома (бревенчатые избы), большая часть которых оштукатурена изнутри, и кирпичные одноэтажные двухквартирные дома;
- пластиковые стеклопакеты на обследованной территории установлены не менее чем в половине домов, независимо от года постройки;
- примерно половина семей живет в своем доме более 20 лет.

Параметры, характеризующие результаты измерений ОА радона в обследованных помещениях, представлены в табл. 1 как среднее арифметическое значение, среднее геометрическое значение, стандартное отклонение логарифма величины (σ_{LN}), а также доля помещений, в которых ОА радона превышает значение в 400 Бк/м³ (соответствует действующему нормативу ЭРОА 200 Бк/м³) и 200 Бк/м³. Отдельно представлены результаты для жилых домов сельского типа как основного типа жилых домов в обследованном регионе.

Превышение предела, установленного НРБ-99/2009 [15] для ЭРОА изотопов радона, наблюдается в 19 помещениях.

Распределение значений ОА радона в помещениях выборки хорошо описывается логнормальным законом, как это показано на рисунке, на котором представлено нормальное распределение величины логарифма ОА радона.

В табл. 2 представлены результаты анализа влияния различных факторов на уровень ОА радона в помещении. Как видно из табл. 2, существенное влияние оказывают такие характеристики здания, как тип окон, год постройки здания, а также материал стен.

В табл. 3 представлены средние индивидуальные эффективные дозы облучения жителей населенных пунктов, расположенных на реке Теча.

Таблица 1

Параметры накопления радона в обследованных помещениях

Тип помещения, населенный пункт	Среднее арифм., Бк/м ³	Среднее геометрич., Бк/м ³	σ_{LN}	Доля помещений с ОА больше	
				200 Бк/м ³ , %	400 Бк/м ³ , %
Все жилые дома	150	116	0,76	23,4	5,0
Дома сельского типа	149	117	0,73	22,9	4,5
Анчугово	112	104	0,42	5,9	0,1
Бисерова	93	76	0,68	7,6	0,7
Бродокалмак	185	166	0,47	34,4	3,1
Бугаево	102	92	0,48	5,3	0,1
Верхняя Теча	126	115	0,47	11,7	0,4
Затеченское	104	86	0,65	9,6	0,9
Казанцева	140	116	0,70	21,6	3,8
Ключевское	107	96	0,60	11,1	0,9
Лобаново	138	120	0,55	17,6	1,4
Муслумово	230	155	0,86	38,3	13,5
Нижнепетропавловское	188	147	0,83	35,4	11,2
Першинское	159	85	1,20	23,8	9,8
Русская Теча	232	192	0,68	47,8	14,2
Шутихинское	142	117	0,66	21,0	3,1

Обсуждение

Сформированная выборка жилищ населенных пунктов, расположенных на реке Теча включает все характерные для региона типы домов, отражает применение распространенных строительных технологий и охватывает широкий спектр социальных слоев населения. В целом можно заключить, что выборка помещений позволяет провести достаточно надежную и представительную оценку современных уровней облучения радоном населения региона.

Согласно полученным результатам, облучение радоном населения на реке Теча может достигать достаточно высоких значений и вносить существенный вклад в накопленную дозу облуче-

ния органов дыхания. Средняя ОА радона 150 Бк/м³, которая наблюдается на реке Теча, в два раза превышает среднюю величину ОА радона в одноэтажных деревянных домах России [12]. Средние годовые эффективные дозы, связанные с облучением радоном варьируют от 6,7 до 16,8 мЗв, что соответствует эффективной дозе 0,34–0,84 Зв и поглощенной дозе в легких 0,14–0,35 Гр, накопленной за 50 лет. При анализе доз облучения необходимо упомянуть, что современный подход к оценке доз облучения от радона на основе дозиметрических моделей, принятый в Публикации 126 МКРЗ [11], возможно, приводит к завышенной оценке дозы от радона. Однако даже при использовании дозовых коэффициентов, предложенных ранее на основе концепции условного дозового перехода, накопленные за 50 лет дозы облучения легких жителей области реки Теча будут составлять величину порядка 0,1 Гр в среднем.

Средневзвешенные эффективные дозы составили 8,9 и 15 мЗв в год в населенных пунктах Курганской и Челябинской областей соответственно. Согласно ОСПОРБ-2010, облучение радоном жителей населенных пунктов на реке Теча в Курганской области является повышенным, в Челябинской – высоким [16]. Предел величины среднегодовой ЭРОА радона в существующих зданиях, установленный в НРБ-99/2009 [15], может быть превышен в 5% домов сельского типа.

Различия средних уровней ОА радона по населенным пунктам (см. табл. 3) отражают пространственную неоднородность уровней накопления радона. С учетом отсутствия различий основных характеристик зданий и социально-экономических условий различия накопления радона в населенных пунктах связаны с геогенным радоновым потенциалом. Наибольшие средние уровни ОА радона наблюдаются в населенных пунктах, расположенных ближе к месту сброса радиоактивных отходов (Бродокалмак, Нижнепетропавловское, Русская Теча, Муслумово). По-видимому, эта территория обладает более высоким геогенным радоновым потенциалом.

При анализе факторов, влияющих на поступление и накопление радона, установлено, что более высокий уровень ОА радона наблюдается в жилищах, в которых установлены современные пластиковые стеклопакеты, а также где проживают одинокие люди. В этих случаях повышенное накопление радона можно связать с низким воздухообменом. Также обнаружены некото-

Таблица 2

Параметры накопления радона в зависимости от характеристик помещения

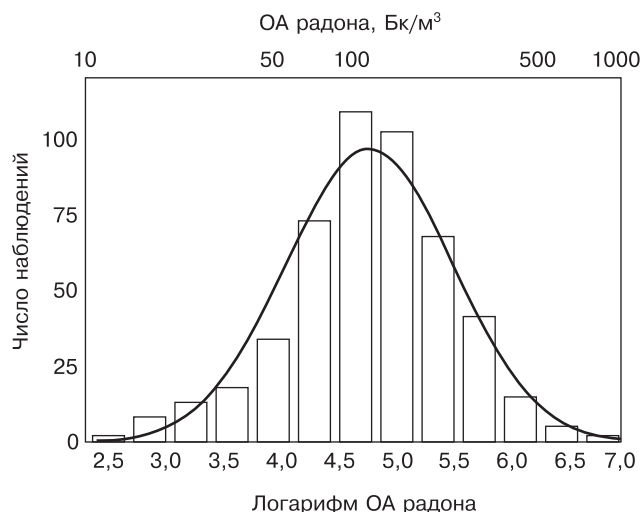
Характеристика здания	Среднее арифм., Бк/м ³	Среднее геометрич., Бк/м ³	σ_{LN}	Доля помещений с ОА больше	
				200 Бк/м ³ , %	400 Бк/м ³ , %
Тип окон:					
деревянные окна	133	103	0,71	17,4	2,8
пластиковые стеклопакеты	150	125	0,67	24,0	4,0
Материал стен:					
деревянные стены	130	108	0,67	18,1	2,6
кирпич, шлакоблок, ж/б	187	139	0,74	31,1	7,7
Год постройки здания:					
до 1949	124	98	0,73	16,6	2,8
1950–1969	117	99	0,67	14,7	1,8
1970–1989	173	134	0,70	28,5	5,9
после 1990	134	112	0,70	20,3	3,4
п. Муслумово (деревянные стены, пластиковые стеклопакеты, год постройки – после 2000 г.)	230	155	0,86	38,3	13,5

рые различия в ОА радона в зданиях, построенных до и после 1970 г. Эти отличия свидетельствуют, о том, что современные уровни ОА радона могут не соответствовать уровням, которые формировались ранее. Установленные зависимости ОА радона от различных факторов могут быть использованы для реконструкции доз облучения в предыдущие десятилетия, что необходимо для корректной оценки эффектов облучения когорты реки Теча.

Заключение

По результатам радонового обследования населенных пунктов, расположенных на реке Теча в 2014–2015 гг. ОА радона в жилых помещениях составила 150 Бк/м³, что обуславливает годовую эффективную дозу облучения 11 мЗв. Можно прогнозировать, что норматив ЭРОА радона 200 Бк/м³ превышен в 5% жилых домов. По результатам измерений, превышение норматива установлено в 19 помещениях из 511. Установлены факторы, влияющие на уровень накопления радона в помещениях.

Доза облучения за счет ингаляции радона, накопленная за продолжительный



Нормальное распределение логарифмов ОА радона.

Таблица 3

Средние дозы облучения населения за счет ДПР радона

Населенный пункт	Эффективная доза, мЗв/год
<i>Курганская область</i>	
Анчугово	8,1
Бисерова	6,7
Бугаево	7,4
Верхняя Теча	9,1
Затеченское	7,5
Казанцева	10,2
Ключевское	7,7
Лобаново	10,0
Першинское	11,5
Шутихинское	10,3
<i>Челябинская область</i>	
Бродокалмак	13,4
Муслимово	16,6
Нижнепетропавловское	13,6
Русская Теча	16,8

период времени (50 лет), в целом сопоставима с дозами, полученными в период 1949–1956 гг. в ходе сбросов жидких радиоактивных отходов в реку Теча.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00141.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 1, 3–4, 9, 13 см. References)

- Шойгу С.К., ред. *Последствия техногенного радиационного воздействия и проблемы реабилитации Уральского региона*. М.: Комтех-принт; 2002.
- Дегтева М.О., Толстых Е.И., Воробьева М.И., Шагина Н.Б., Анспо Л.Р., Напье Б.А. и др. Дозиметрическая система реки Теча: настоящее и будущее. *Вопросы радиационной безопасности*. 2006; (1): 81–95.
- Шагина Н.Б., Голиков В.Ю., Дегтева М.О., Воробьева М.И., Анспо Л.Р., Напье Б.А. Реконструкция индивидуальных доз медицинского облучения для когорты реки Течи. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2012; 57(3): 13–25.

- Аклеев А.В., Крестинина Л.Ю., Престон Д., Дэвис Ф., Дегтева М.О., Анспо Л. и др. Радиационный риск злокачественных новообразований у жителей прибрежных сел реки Течи. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2008; 53(4): 13–37.
- Аклеев А.В., Крестинина Л.Ю. Канцерогенный риск у жителей прибрежных сел реки Теча. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2010; (6): 34–9.
- Ярмошенко И.В., Малиновский Г.П., Васильев А.В., Жуковский М.В. Обзор рекомендаций МАГАТЭ по защите от облучения радоном в жилищах. *АНРИ*. 2015; 83(4): 22–8.
- Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., Киселева С.М., ред. Радиологическая защита от облучения радоном. Перевод публикации 126 МКРЗ. Москва: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России; 2015.
- Ярмошенко И.В., Малиновский Г.П., Васильев А.В., Жуковский М.В. Восстановление формы и параметров распределения объемной активности радона в жилищах России на основе данных 4-ДОЗ. *АНРИ*. 2015; 82(3): 41–6.
- Жуковский М.В., Ярмошенко И.В. *Радон: измерение, дозы, оценка риска*. Екатеринбург: УрО РАН; 1997.
- СанПиН 2.6.1.2523–09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. М.: 2009.
- СП 2.6.1.2612–10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010). М.; 2010.

References

- Trapeznikov A.V., Pozolotina V.N., Chebotina M.Y., Chukanov V.N., Trapeznikova V.N., Kulikov N.V., et al. Radioactive contamination of the Tеча river, the Urals. *Health Physics*. 1993; 65(5): 481–8.
- Shoygu S.K., ed. *The Effects of Anthropogenic Radiation Exposure and Problems of Rehabilitation of the Ural Region [Posledstviya tekhnogenogo radiatsionnogo vozdeystviya i problemy reabilitatsii Ural'skogo regiona]*. Moscow: Komtekhpriint; 2002. (in Russian).
- Krestinina L.Y., Davis F.G., Schonfeld S., Preston D.L., Degteva M., Epifanova S., et al. Leukaemia incidence in the Tеча River Cohort: 1953–2007. *Br. J. Cancer*. 2013; 109(11): 2886–93.
- Krestinina L.Y., Epifanova S., Silkin S., Mikryukova L., Degteva M., Shagina N. et al. Chronic low-dose exposure in the Tеча River Cohort: risk of mortality from circulatory diseases. *Radiat. Environ. Biophys.* 2013; 52(1): 47–57.
- Degteva M.O., Tolstykh E.I., Vorob'eva M.I., Shagina N.B., Anspo L.R., Nap'е B.A. et al. Tеча river dosimetric system: present and future. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti*. 2006; (1): 81–95. (in Russian)
- Shagina N.B., Golikov V.Yu., Degteva M.O., Vorob'eva M.I., Anspo L.R., Nap'е B.A. Reconstruction of Individual Doses due to Medical Exposures for Members of the Tеча River Cohort. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'*. 2012; 57(3): 13–25. (in Russian)
- Akleev A.V., Krestinina L.Yu., Preston D., Devis F., Degteva M.O., Anspo L. et al. Radiogenic risk of malignant neoplasms for Tеча river-side residents. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost'*. 2008; 53(4): 13–37. (in Russian)
- Akleev A.V., Krestinina L.Yu. Carcinogenic risk in residents of the Tеча riverside villages. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2010; (6): 34–9. (in Russian)
- Krestinina L.Yu., Preston D.L., Davis F., Epifanova S., Ostroumova E., Ron E. et al. Leukemia incidence among people exposed to chronic radiation from the contaminated Tеча River, 1953–2005. *Radiat. Environ. Biophys.* 2010; 49(2): 195–201.
- Yarmoshenko I.V., Malinovskiy G.P., Vasil'ev A.V., Zhukovskiy M.V. Review of the IAEA Recommendations on Protection Against Exposure to Indoor Radon. *ANRI*. 2015; 83(4): 22–8. (in Russian)
- ICRP, 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. *Ann. ICRP*. 43(3).
- Yarmoshenko I.V., Malinovskiy G.P., Vasil'ev A.V., Zhukovskiy M.V. Reconstruction of indoor radon distribution pattern and its parameters in Russia using data of 4-DOZ reports. *ANRI*. 2015; 82(3): 41–6. (in Russian)
- IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications No. IAEA/AQ/33. National and Regional Surveys of Radon Concentration in Dwellings: Review of Methodology and Measurement Techniques. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2013.
- Zhukovskiy M.V., Yarmoshenko I.V. *Radon: Measurements, Doses and Risk Assessment [Radon: izmerenie, dozy, otsenka riska]*. Ekaterinburg: UrO RAN; 1997. (in Russian)
- SanPiN 2.6.1.2523–09. Radiation Safety Standards NRB-99/2009. Moscow; 2009.
- SP 2.6.1.2612–10. Basic sanitary rules for radiation safety (OSPORB 99/2010). Moscow; 2010.

Поступила 06.04.16
Принята к печати 04.10.16