

УДК 614.876:546.296(476.7)

ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ЛУНИНЦА И МИКАШЕВИЧЕЙ ЗА СЧЕТ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

А. В. СОСНОВСКИЙ¹⁾, А. Р. АВЕТИСОВ¹⁾, Ж. А. ЛУКАШЕВИЧ²⁾,
Л. Л. ВАСИЛЕВСКИЙ²⁾, Д. А. ХАКИМОВ²⁾, И. К. КИРИЕВИЧ³⁾

¹⁾Белорусский государственный медицинский университет,
пр. Дзержинского, 83, 220116, г. Минск, Беларусь

²⁾Объединенный институт энергетический и ядерных исследований – Сосны,
ул. Академика Красина, 99, 220109, г. Минск, Беларусь

³⁾Лунинецкий районный центр гигиены и эпидемиологии,
ул. Красная, 162, 225644, Брестская область, г. Лунинец, Беларусь

Представлена информация об уровнях радона в воздухе жилых помещений населенных пунктов Лунинец и Микашевичи и их окрестностей (Брестская область, Республика Беларусь), а также дозы внутреннего облучения на население данных территорий сформированным ингаляционным поступлением данного радиоактивного благородного газа. Исследование интегрального средневзвешенного значения объемной активности радона в воздухе жилых помещений проводилось трековым методом с использованием интегральных трековых радиометров радона на базе аккредитованной лаборатории. На основании данных о содержании радона в воздухе жилых помещений рассчитаны дозы на население Лунинца и Микашевичей, а также проведен анализ факторов, которые могли оказать влияние на величину данной дозы (особенности строительных материалов жилых помещений, бытовых коммуникаций, расположение дома). Дозы облучения населения за счет радона в воздухе жилых помещений находились в диапазоне от 0,9 до 7,7 мЗв/год с отличным от нормального распределением. В ходе исследования было выяснено, что наиболее существенно на уровень радона в воздухе жилых помещений влияет непосредственно тип жилого помещения: дозы на население, которое проживает в частных жилых домах с кирпичными стенами, достоверно выше по сравнению с аналогичными дозами на население, проживающего на первых этажах многоквартирных жилых домов. Произведено сравнение уровней радона в воздухе жилых помещений и доз для населения Лунинца и Микашевичей. Уровни радона в воздухе жилых помещений Лунинца достоверно выше аналогичных уровней в Микашевичах, что нивелирует роль

Образец цитирования:

Сосновский АВ, Аветисов АР, Лукашевич ЖА, Василевский ЛЛ, Хакимов ДА, Кириевич ИК. Дозы облучения населения Лунинца и Микашевичей за счет радона в воздухе жилых помещений. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2022;3:54–61.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-3-54-61>

For citation:

Sasnouskiy AV, Avetisov AR, Lukashevich JaA, Vasileuski LL, Hakimov DA, Kirievich IK. Dose exposure to the population of Lunints and Mikashevichi due to radon in residential air. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2022;3:54–61. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-3-54-61>

Авторы:

Алексей Витальевич Сосновский – аспирант кафедры радиационной медицины и экологии.

Арам Рубенович Аветисов – кандидат медицинских наук, доцент; заведующий кафедрой радиационной медицины и экологии.

Жанна Андреевна Лукашевич – старший научный сотрудник лаборатории радиохимических исследований природных сред и экспертизы радиоактивных материалов.

Лев Леонидович Василевский – инженер лаборатории радиохимических исследований природных сред и экспертизы радиоактивных материалов.

Дилшод Абдухалимович Хакимов – аспирант лаборатории радиохимических исследований природных сред и экспертизы радиоактивных материалов.

Ирина Константиновна Кириевич – заведующий лабораторным отделом Лунинецкого районного центра гигиены и эпидемиологии.

Authors:

Alexey V. Sasnouski, postgraduate student at the department of radiation medicine and ecology.

sosnovskiy_franc@mail.ru

Aram R. Avetisov, PhD (medicine); head of the department of radiation medicine and ecology.

avetisov@tut.by

Janna A. Lukashevich, senior researcher of the laboratory of radiochemical research of natural environments and expertise of radioactive materials.

lab13@sosny.bas-net.by

Leu L. Vasileuski, engineer of the laboratory of radiochemical research of natural environments and expertise of radioactive materials.

lab13@sosny.bas-net.by

Dilshod A. Hakimov, postgraduate student of the laboratory of radiochemical research of natural environments and expertise of radioactive materials.

lab13@sosny.bas-net.by

Irina K. Kirievich, head of the laboratory, Luninets district center of hygiene and epidemiology.

kirievich-soct@mail.ru

воздействия добычи гранита на уровень радона в воздухе жилых помещений данного населенного пункта. Произведен расчет пожизненных онкологических рисков для населения Лунинца и Микашевичей. При расчете $0,6 \times 10^{-5}$ на каждый Бк/м³ онкологические риски находились в диапазоне от 0,00009 до 0,00074. На основании результатов измерений созданы карты, которые наглядно демонстрирует распределение уровней радона в воздухе жилых помещений исследуемых населенных пунктов и их окрестностей.

Ключевые слова: радон; доза облучения; онкологический риск.

DOSE EXPOSURE TO THE POPULATION OF LUNINTS AND MIKASHEVICH I DUE TO RADON IN RESIDENTIAL AIR

A. V. SASNOUSKIY^a, A. R. AVETISOV^a, Ja. A. LUKASHEVICH^b, L. L. VASILEUSKI^b, D. A. HAKIMOV^b, I. K. KIRIEVICH^c

^aBelarusian State Medical University,

83 Dzjarzhynskaya Avenue, Minsk 220116, Belarus

^bJoint Institute for Energy and Nuclear Research – Sosny,

99 Akademika Krasina Street, Minsk 220109, Belarus

^cLuninets District Center of Hygiene and Epidemiology,

162 Krasnaya Street, Luninets 225644, Brest Region, Belarus

Corresponding author: A. V. Sasnouski (sasnovskiy_franc@mail.ru)

This article contains information about the levels of radon in the air of residential premises in the settlements of Luninets and Mikashevichi and their environs (Brest region, Republic of Belarus), as well as doses to the population of these territories, formed by the inhalation intake of this radioactive noble gas. The study of the integral weighted average value of the volumetric activity of radon in the air of residential premises was carried out by the track method using integrated radon track radiometers based on an accredited laboratory. Based on data on the content of radon in the air of residential premises, doses were calculated for the population of Luninets and Mikashevichi, and an analysis was made of factors that could affect the magnitude of this dose (features of building materials of residential premises, household communications, location of the house). Exposure doses to the population due to radon in the air of residential premises fell in the range from 0.9 to 7.7 mSv/year with a non-normal distribution. In the course of the study, it was found that the type of dwelling has the most significant effect on the level of radon in the air of residential premises: doses for the population living in private residential buildings with brick walls are significantly higher compared to similar doses for the population living on the first floors apartment buildings. A comparison was made of the levels of radon in the air of residential premises and doses for the population of Luninets and Mikashevichi. The levels of radon in the air of residential premises of Luninets are significantly higher than those in Mikashevichi, which refutes the impact of granite mining on the level of radon in the air of residential premises of this settlement. The calculation of lifelong oncological risks for the population of Luninets and Mikashevichi was made. When calculating 0.6×10^{-5} for each Bq/m³, the oncological risks fell within the range from 0.00009 to 0.00074. Based on the measurement results, maps were created that clearly demonstrate the distribution of radon levels in the air of residential premises of the studied settlements and their environs.

Keywords: radon; radiation dose; cancer risk.

Введение

Согласно последнему отчету Всемирной организации здравоохранения, рак – одна из ведущих причин смерти в мире, которая ежегодно уносит жизни почти 10 млн человек [1]. Рак легких входит в число одних из самых распространенных видов данного заболевания (ежегодно регистрируется порядка 2,2 млн случаев). В то же время он остается самым смертоносным: в структуре смертей от онкологических заболеваний и занимает первое место. Ежегодно от рака легких умирает 1,8 млн чел. Для сравнения, второе место в этой структуре у рака толстой и прямой кишки, где фиксируется вдвое меньше смертей.

В современных условиях до 50 % онкологических заболеваний поддаются профилактике. При этом должны соблюдаться два самых важных условия: исключения факторов риска и осуществления ряда научно обоснованных стратегий профилактики. Одним из важнейших факторов риска при любых видах онкологических заболеваний всегда было ионизирующее излучение. Ранее Всемирная ассамблея здравоохранения приняла резолюцию «Профилактика рака и борьба с ним в контексте комплексного подхода» (WHA70.12), в которой содержится призыв к правительствам стран и ВОЗ ускорить работу по достижению целей, предусмотренных в Глобальном плане действий по профилактике неинфекционных заболеваний и борьбе с ними на 2013–2020 гг. и в принятой ООН Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 г., в интересах снижения преждевременной смертности от рака. Важнейшими задачами

при этом остаются: координирование и проведение научных исследований для изучения причин развития онкологических заболеваний человека и механизмов онкогенеза; разработка стандартов и руководств в качестве основы для планирования и осуществления мероприятий в области профилактики онкологических заболеваний¹.

Не вызывает сомнения, что главной причиной развития рака легкого является курение. В то же время научные исследования показывают, что курение хоть и основная, но не единственная причина развития данного онкологического заболевания. Порядка 10 % всех случаев рака легких (180 тыс. смертей в год) не связаны с использованием табака. В таком случае стоит обратить внимание на причину, занимающую второе место в этиологической структуре, коей является ионизирующее излучение прежде всего от присутствия радона в воздухе жилых помещений.

Радон (Rn) – природный благородный газ без цвета и запаха, не имеет стабильных изотопов. Он образуется в процессе радиоактивного распада урана и тория. Радон в природе представлен тремя изотопами, являющимися альфа-излучателями. Наиболее стабильный изотоп с атомной массой 222 имеет период полураспада 3,8 сут. Концентрация остальных изотопов в воздухе жилых помещений пренебрежимо мала. Главными источниками радона в воздухе жилых помещений являются незащищенный грунт и радоноопасные строительные материалы.

Международные независимые исследования разных стран показывают связь между радоном в воздухе жилых помещений и раком легкого. Радон был классифицирован как канцероген для человека и признан серьезной проблемой для здоровья такими группами, как Centers for Disease Control, the American Lung Association, the American Medical Association, the American Public Health Association. В начале 1999 г. Национальная академия наук США опубликовала свой отчет «BEIR VI» (NAS 1999), в котором были представлены выводы о том, что радон является второй по значимости причиной рака легких после курения. Было подсчитано, что из 157 400 смертей от рака легких в США в 1995 г. 21 100 (13,4 %) были связаны с радоном [2]. После исследования воздействия радона в воздухе жилых помещений в Норвегии, был сделан вывод, что радон является фактором, способствующим развитию 12 % всех случаев рака легких в год, при условии, что средняя концентрация радона в норвежских домах составляет 88 Бк/м³. За 2015 г. это привело к развитию 373 случаев рака легких [3]. После глобального исследования и картирования результатов в Иране были получены результаты о концентрации радона в воздухе жилых помещений в интервале 117,4 ± 97,7 Бк/м³. Было установлено, что средние значения параметра избыточного риска рака (excess lifetime cancer risk, ELCR) находятся в диапазоне 0,1–4,26 %, а его общее среднее значение составляет 1,01 %. Среднее значение для риска развития рака легких, вызванного радоном, составило 46,8 случаев на миллион человек [4].

Исследования радона в воздухе жилых помещений и рака легких в Европе, Северной Америке и Азии дают убедительные доказательства того, что радон вызывает значительное число случаев рака легких у населения в целом. Текущие оценки доли рака легких, связанного с радоном в воздухе жилых помещений, колеблются от 3 до 14 %, а также в зависимости от средней концентрации радона в соответствующей стране и методов расчета. Анализы показывают, что риск рака легких увеличивается пропорционально увеличению воздействия радона. Поскольку многие люди подвергаются воздействию низких и умеренных концентраций радона, большинство случаев рака легких, связанных с радоном, вызваны этими уровнями воздействия, а не более высокими концентрациями. Радон является второй причиной рака легких после курения. Большинство случаев рака легкого, вызванного радоном, приходится на курильщиков из-за сильного комбинированного действия курения и радона [5]. Отдельные анализы показывают, что профилактические меры во всех новых зданиях экономически эффективны в районах, где более 5 % нынешних жилых помещений имеют концентрацию радона выше 200 Бк/м³. Профилактика в новых домах, как правило, более рентабельна, чем смягчение последствий в существующих домах. В некоторых районах с низким уровнем риска затраты на измерения могут быть выше, чем затраты на смягчение последствий (для существующих жилых домов) из-за большого количества домов, которые необходимо будет проверить, по сравнению с долей домов, в которых были смягчены последствия. Даже если анализ показывает, что программы реабилитации неэффективны с точки зрения затрат в общенациональном масштабе, высокие концентрации радона внутри помещений представляют значительный риск развития рака легких у людей и требуют смягчения последствий.

Согласно основным положениям проекта программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг., в системе здравоохранения усилия будут сконцентрированы на охране здоровья населения, повышении доступности и качества медицинской помощи, путем усиления эпидемиологической безопасности и снижения уровня заболеваемости населения. Согласно проекту, данная цель достигается усилением медицинской профилактики неинфекционных заболеваний.

¹Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс]. Рак. Информационные бюллетени. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/cancer> (дата обращения: 29.06.2022).

Таким образом, актуальность данной работы полностью согласуется с международными и национальными интересами, так как она направлена на изучение второго по значимости фактора риска возникновения заболевания. Стоит уточнить, что каждый год в Беларуси выявляют более 4200 чел., заболевших раком легкого и почти в 64 % случаев болезнь находится на III–IV стадиях. Изучение фактора риска, его особенностей для наших территорий и строительных материалов является сферой интересов радиационной биологии важной миссией профилактической медицины.

Цель исследования – изучение дозовых нагрузок на население Лунинца и Микашевичей за счет радона в воздухе жилых помещений.

Задачи исследования:

1. Провести измерения концентрации радона в воздухе жилых помещений в Лунинце и Микашевичах
2. Произвести расчет доз, которые формируются при воздействии радона в воздухе жилых помещений на население.
3. Найти факторы, влияющие на формирование дозы на население.
4. Произвести картирование полученных результатов.

Материалы и методы исследования

Для изучения были выбраны 2 населенных пункта Брестской обл.: Лунинец и Микашевичи, а также их окрестности. В Лунинце было исследовано 47 жилых домов, в Микашевичах – 34 дома, в окрестных деревнях (Синкевичи, Цна, Дребск, Кожан-Городок, Запросье) – 11 домов. Всего в исследовании принимало участие 92 жилых дома, произведено 184 измерительных исследования. При участии сотрудников ГУ «Лунинецкий районный центр гигиены и эпидемиологии» был произведен выбор жилых помещений для проведения измерительных исследований. Данный выбор проводился с учетом архитектурно-строительных особенностей жилых помещений, например, высоты подполья, используемых строительных материалов, типов отопления и водоснабжения, кроме того, было учтено пространственное расположение данных жилых помещений.

Согласно действующим нормативно-правовым актам^{2,3} исследование проводилось на протяжении 2 месяцев (январь и февраль 2022 г.). Наше исследование проходило именно в холодный период года, так как зимой уровни радона в воздухе жилых помещений достигают максимальных значений вследствие снижения качества и кратности проветривания комнат. Параллельно с этим в зимние месяцы человек дольше всего пребывает внутри помещений, а не на улице. Учет данных факторов позволяет моделировать и анализировать наиболее пессимистический сценарий воздействия на здоровье населения радона в воздухе жилых помещений.

Исследование интегрального средневзвешенного значения объемной активности радона в воздухе жилых помещений проводилось трековым методом с использованием интегральных трековых радиометров радона. Главной идеей метода измерений является регистрация и подсчет треков альфа-частиц радона и его дочерних продуктов распада на твердотельных трековых накопителях. Воздух естественным путем проходит в камеру интегрального трекового радиометра радона через диффузионный фильтр, которые предупреждает попадание влаги и аэрозолей. Среднее время диффузии составляет около двух часов, что намного больше, чем период полураспада торона ($T_{1/2} = 55,6$ с) и практически исключает его влияние на результаты измерений. Альфа-частицы, которые испускаются при распаде радона, образуют треки повреждений в детекторе интегральных трековых радиометров радона. После экспонирования, которое длится два месяца, детектор извлекается из интегрального трекового радиометра радона и подвергается химической обработке для подсчета количества треков. Средняя объемная активность радона в воздухе жилых помещений пропорциональна количеству треков, оставленных после экспонирования. Эффективность регистрации определяют путем экспонирования партии интегральных трековых радиометров радона в атмосфере с заданной концентрацией радона. Физическая величина, которая определяется с помощью интегрального трекового радиометра радона является средневзвешенным значением объемной активности радона в воздухе жилых помещений ($\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3}$) за время экспозиции.

При проведении измерений использовались следующие средства, реактивы и материалы: интегральный трековый радиометр радона с детектором на основе пленки Kodak LR-115, Type 2; прибор для травления трековых детекторов – термостат ТРАЛ-1; прибор для автоматического подсчета треков АИСТ-2В; лента лавсановая алюминизированная типа ПЭТФ 0А12; едкий натр NaOH (гидроксид натрия), ГОСТ 4328, 6н раствор; вода дистиллированная, ГОСТ 6709.

Подготовка, измерения, обработка и расчет результатов, контроль погрешностей были произведены согласно с действующей нормативно-правовой документацией в аккредитованной лаборатории

²МВИ. МН 1808-2002. Методика определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц. Минск, 2002. 18 с.

³МУК РБ №11-8-6-2002. Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий: метод. указания. Минск, 2002. 21с.

экспериментальных ядерно-физических исследований и экспертных анализов радиоактивных материалов № 13 на базе Государственного научного учреждения «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны».

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с Инструкцией⁴ и международными рекомендациями [6] были рассчитаны дозы облучения за счет радона в воздухе жилых помещений на население. Расчет дозы $E(Rn)$, формируемой на население за счет радона в воздухе жилых помещений, производится на основании дозового коэффициента ($9,0 \cdot 10^{-6}$ мЗв/час·Бк/м³), среднего времени пребывания человека в жилом помещении на протяжении года (7000 ч) и среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона (ЭРОА) в воздухе жилых помещений (Бк/м³). Формула для расчета:

$$E(Rn) = 9,0 \cdot 10^{-6} \cdot 7000 \text{ ч} \cdot \text{ЭРОА} (Rn).$$

На данных основаниях дозы облучения населения за счет радона в воздухе жилых помещений изменялись в диапазоне от 0,9 до 7,7 мЗв/год с отличным от нормального распределением ($p < 0,01$, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors) полученных значений (рис. 1).

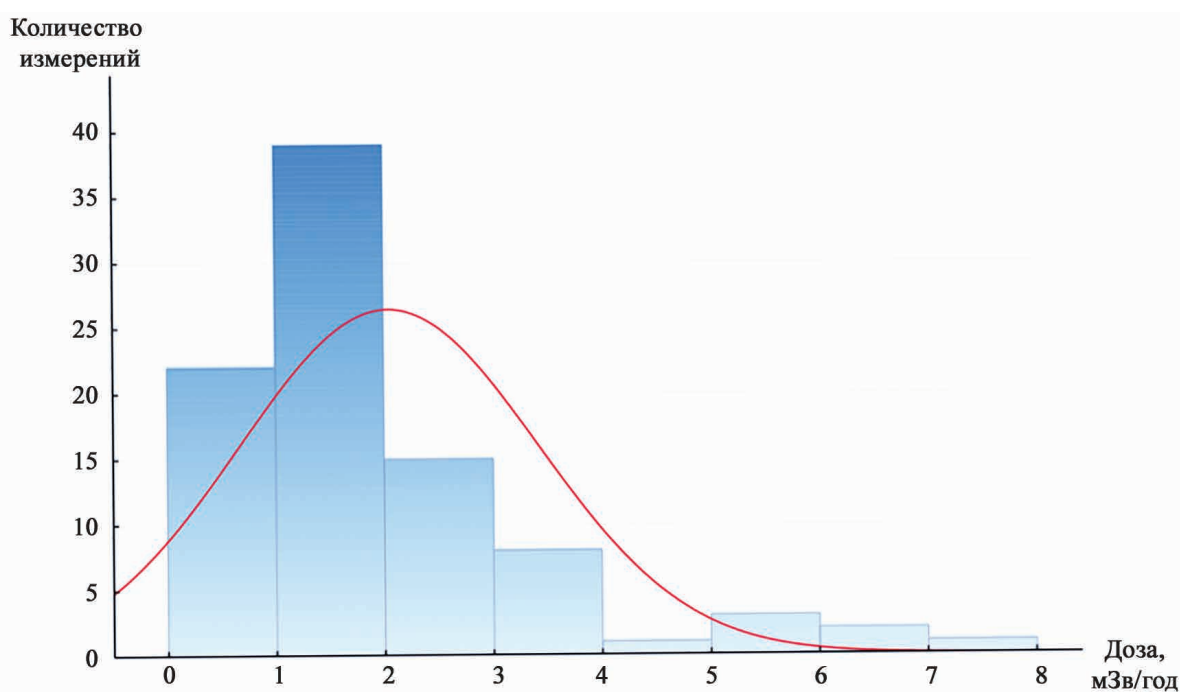


Рис. 1. Распределение доз облучения на население за счет радона в воздухе жилых помещений

Fig. 1. Distribution of exposure doses to the population due to radon in the air of residential premises

Далее был проведен анализ статистических выбросов и сформирована выборка. Среднее значение составило 2,04 мЗв/год, медианное – 1,6 мЗв/год. При этом статистическая обработка полученных результатов продемонстрировала более высокие значения ($p < 0,05$) уровней радона в воздухе жилых помещений, а соответственно, и дозы на население, формируемые за счет радона в воздухе жилых помещений, в Лунинце по сравнению с Микашевичами (рис. 2).

Однако не до конца ясно, что является критическим фактором, обусловившим более высокие уровни радона в воздухе жилых помещений и формируемые за счет него дозы на население в Лунинце по сравнению с Микашевичами, так как измерения в обоих населенных пунктах проводились в одно и то же время и была сформирована однородная выборка точек исследования. При этом данный факт указывает на отсутствие влияния работы предприятия по добыче гранита на уровни радона в воздухе жилых помещений. По нашему мнению, наиболее актуальным фактором является не территория и ее геологические особенности, а также архитектурно-планировочные решения, предпринятые при строительстве жилых домов, что, безусловно, является более контролируемым, прогнозируемым и корректируемым фактором.

⁴Инструкция по оценке индивидуальных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. Инструкция 2.6.1: утверждено Министерством здравоохранения Республики Беларусь. Минск, 2006. 20 с.

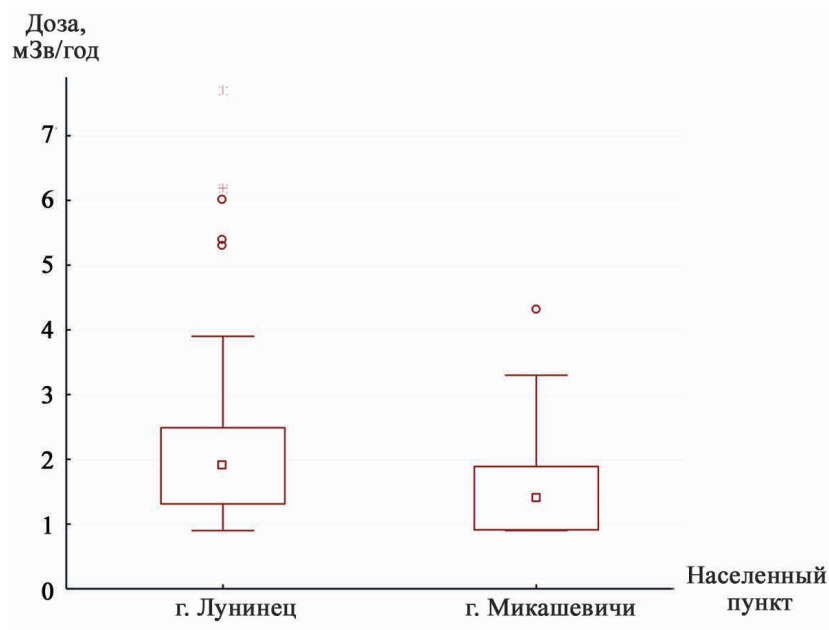


Рис. 2. Сравнение доз в Лунинце и Микашевичах

Fig. 2. Comparison of doses in Luninets and Mikashevichi

Мы анализировали следующие архитектурно-планировочные факторы, которые могли повлиять на содержание радона в воздухе жилых помещений: материал стен, материал пола, изолированность грунта, высоту подполья, тип водоснабжения и тип отопления.

Существенное влияние на уровень радона в воздухе жилых помещений оказал материал стен. Нами было проанализировано 13 жилых домов железобетонной конструкции, 44 кирпичных жилых дома и 32 деревянных. В ходе статистического анализа были выявлены достоверные различия ($p < 0,05$) в дозах на население, проживающего в данных жилых помещениях. Наиболее благополучными оказались деревянные конструкции, наименее – кирпичные. Причем дозы, создаваемые радоном в воздухе жилых помещений на население, проживающее в кирпичных домах, несколько выше аналогичных доз в домах с железобетонной конструкцией, однако данные различия не являются статистически достоверными (рис. 3).

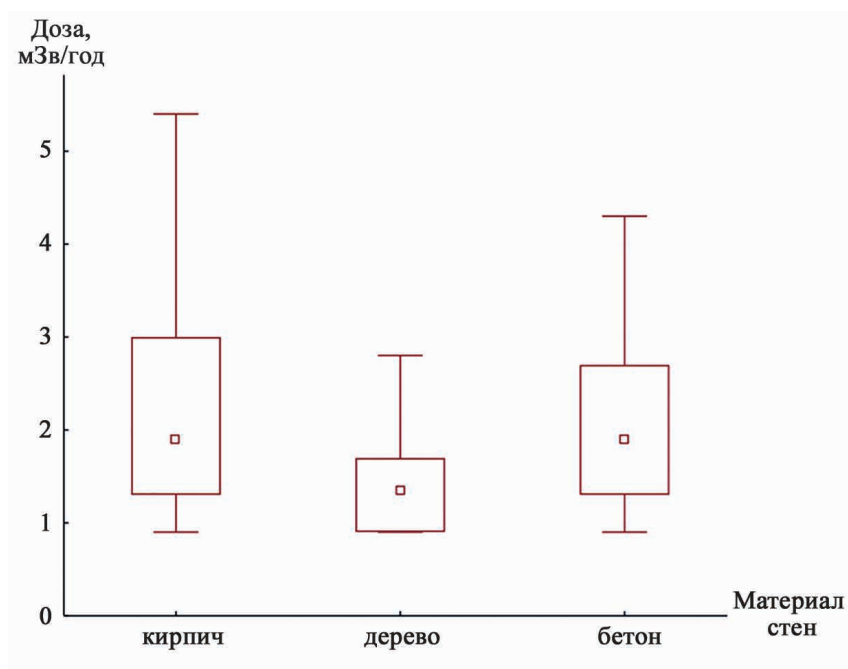


Рис. 3. Сравнительная характеристика материала стен

Fig. 3. Comparative characteristics of the wall material

Это косвенно подтверждает общеизвестные данные о сравнительно высоком содержании радионуклидов в красном кирпиче. Кроме того, на формирование более низких уровней радона в деревянных домах мог повлиять фактор вентиляции, так как зачастую именно в деревянных домах присутствует больше естественных вентиляционных отверстий.

Такие же факторы объясняют различия в уровнях радона в воздухе жилых помещений и дозах на население между домами с деревянными и бетонными полами. Материалы пола и стен часто взаимосвязаны, поскольку на практике крайне редко встречаются бетонные конструкции с деревянными перекрытиями и наоборот. Это и объясняет более высокие уровни радона в жилых помещениях с бетонным полом. Следует отметить, что данные отличия не являлись статистически достоверными. Также не было найдено статистически значимых различий в уровнях радона в воздухе жилых помещений с разными видами отопления (центральным и местным) и водоснабжением. По всей видимости данные особенности не оказывают существенного влияния на выделение радона в воздух жилого помещения. Кроме того, неожиданным стал тот факт, что высота подполья не оказывает существенного влияния на уровень радона в воздухе жилого помещения. Безусловно, существует некоторая слабая корреляция между данными факторами, однако статистического подтверждения она не нашла. В целом, по нашему мнению, наиболее значимыми факторами, оказывающими влияние на уровни радона в воздухе жилых помещений, являются используемые строительные материалы и расположение дома.

На основании полученных доз нами были рассчитаны онкологические риски для населения, проживающего в данных жилых помещениях. Сам расчет проводился на основании рекомендаций Всемирной организации здравоохранения [7]. Согласно их публикации, риски для людей, которые никогда не курили, составляют $0,6 \times 10^{-5}$ на каждый Бк/м³. Таким образом, онкологические риски находились в диапазоне от 0,00009 до 0,00074.

Заключительным этапом работы стало картирование полученных результатов доз, формируемых на население из-за воздействия радона, содержащегося в воздухе жилых помещений. Данные карты (рис. 4, 5) наглядно демонстрирует неравномерность уровней дозовых нагрузок, формируемых радоном, содержащимся в воздухе жилых помещений в пределах одного населенного пункта, что говорит о необходимости прямых измерений радона не только в рамках предупредительного, но и текущего санитарного надзора.

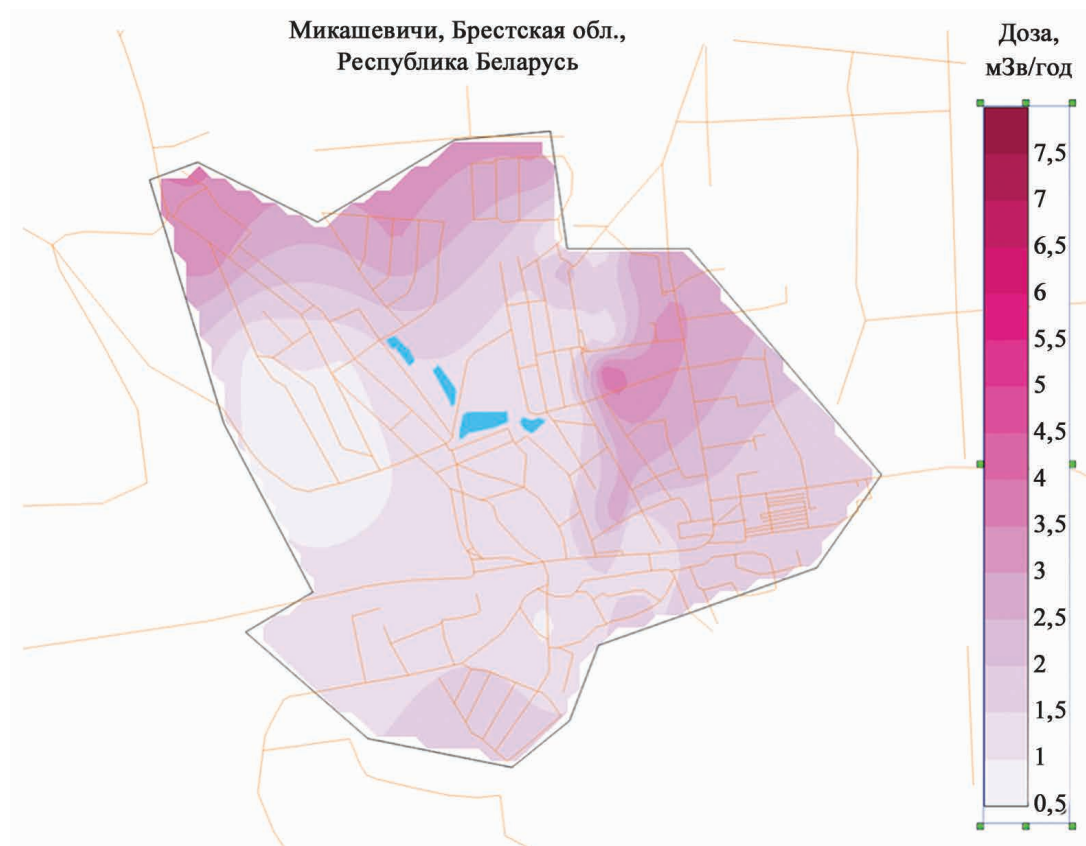


Рис. 4. Карта доз, сформированных от радона в воздухе жилых помещений в г. Микашевичи (Брестская обл., Республика Беларусь)

Fig. 4. Map of doses generated from radon in the air of residential premises in Mikashevichi (Brest region, Republic of Belarus)

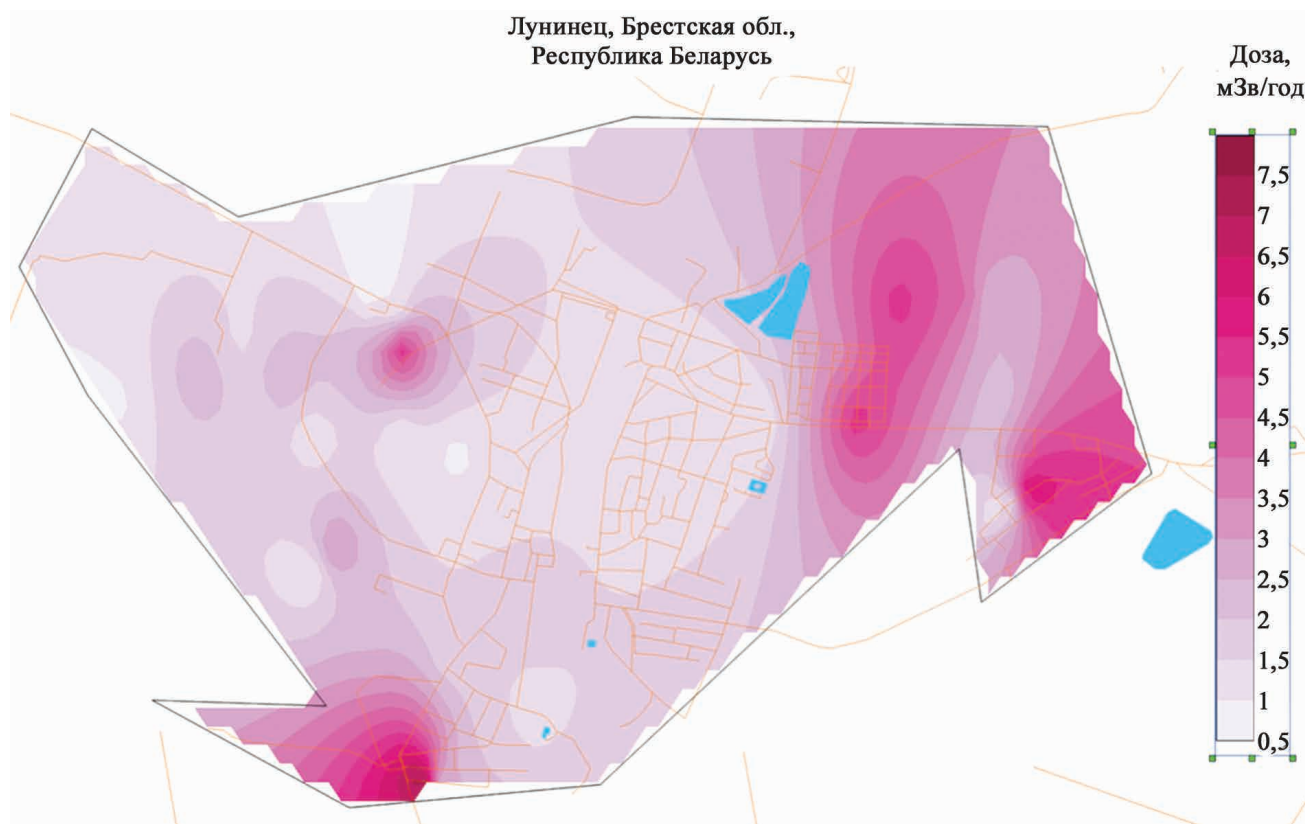


Рис. 5. Карта доз, сформированных от радона в воздухе жилых помещений в г. Лунинец (Брестская обл., Республика Беларусь)

Fig. 5. Map of doses generated from radon in the air of residential premises in Luninets (Brest region, Republic of Belarus)

Заклучение

При измерении объемной активности радона в воздухе жилых помещений были зарегистрированы эквивалентные объемные активности радона в диапазоне от 15 до 123 Бк/м³, которые сформировали дозы на население исследуемых городов от 0,9 до 7,7 мЗв/год. Среднее значение составило 2,04 мЗв/год, медианное – 1,6 мЗв/год. Уровни радона и соответствующие им дозы имели неравномерный характер распределения. Уровни радона в воздухе жилых помещений города Микашевичи достоверно более низкие, чем аналогичные в городе Лунинец, что позволяет делать вывод об отсутствии неблагоприятного влияния гранитного месторождения в Микашевичах на активность радона помещений. Факторы, которые оказали наиболее существенное влияние на формирование уровней радона в воздухе жилых помещений: материал стен и расположение дома. Онкологические риски изменяются в диапазон от 0,00009 до 0,00074.

Библиографические ссылки / References

1. Cancer today [Internet, cited 2022 June 29]. Lyon: International Agency for Research on Cancer. Available from: <https://gco.iarc.fr/today>.
2. EPA Assessment of Risks from Radon in Homes. *United States Environmental Protection*, 2003; Agency – June: 3–4.
3. Hassfjell CS, et al. Lung cancer incidence associated with radon exposure in Norwegian homes. *Tidsskr Nor Laegeforen*. 2017;21(137):14–15.
4. Sherafat S, et al. First indoor radon mapping and assessment excess lifetime cancer risk in Iran. *MethodsX*. 2019;30(6):2205–2216.
5. Hajo Zeeb, Ferid Shannoun, editors. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. In: *World Health Organization*. 2009. p. 7–8.
6. United nations scientific committee on the effects of atomic radiation [Internet, cited 2022 June 29]. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2006 Report to the General Assembly, with scientific annexes. Available from: https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2006_2.html.
7. World health organization [Internet, cited 2022 June 29]. Indoor Air Quality Guidelines: Selected Pollutants. Available from: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/132957/e94535_exsumR.pdf.