

В результате обработки результатов определения объемной активности радона в воздухе задний, расположенных на территории Гомельской области, в 2021 году установлено, что средние значения эквивалентной равновесной объемной активности радона $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ в различных административных районах изменяются от 53 до 84 Бк/м³. Превышение нормируемого законодательством Республики Беларусь значения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ более 200 Бк/м³ наблюдается в 1 помещении или в 1,9 % случаев из обследованных зданий.

Превышений нормируемого значения $\overline{\text{ЭРОА}}_{\text{Rn}}$ (200 Бк/м³) в воздухе зданий в обследованных населенных пунктах Гомельской, Минской и Гродненской областей в 2022 году не выявлено.

Карты концентраций радона в воздухе помещений являются основным инструментом для оценки ситуации существующего облучения населения, обусловленного присутствием радона в закрытых помещениях и, в надлежащих случаях, для разработки и осуществления плана действий по контролю, так как позволяют обозначить наиболее радоноприоритетные регионы.

Проведение мониторинга радона в дальнейшем на территории Республики Беларусь по всем областям позволит значительно повысить статистику исследований и дополнить подробную уровень активности радона в воздухе помещений Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности». Введ. 28.12.2012. – Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://minzdrav.gov.by/upload/dadwfiles/000390_154299_PostMZ_N213_2012_Sanpin.doc. – Дата доступа: 20.02.2023.
2. Проведение комплексных исследований природных источников ионизирующих излучений, обусловленных радоном-222. Оценка доз радиоактивного облучения населения Беларуси в различных регионах в обеспечение Закона Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии»: отчет о НИР (заключ.) / ОИЭЯИ–Сосны НАН Беларуси; рук. темы И.В. Жук. – Минск, 2020. – 295 с. – № ГР 20160839. – Инв. № 2060.
3. Методика определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: МВИ. Мн. 1808-2002. – Минск, 2002. – 18 с.
4. Разработка и метрологическая аттестация методики для массовых измерений объемной активности радона в жилых и производственных помещениях с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: отчет о НИР (заключ.) / ГНУ «ОИЭЯИ–Сосны» НАН Беларуси; рук. темы О.И. Ярошевич. – Минск, 2002. – 117 с. – № ГР 2002763. – Инв. № 620.
5. Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий. Методические указания МУК РБ № 11-8-6-2002. – Минск, 2002. – 21 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕДУР РАДОНОТЕРАПИИ OPTIMIZATION OF RADIATION PROTECTION OF PERSONNEL DURING RADON THERAPY PROCEDURES

А. С. Басак^{1,2}, Т. В. Дашкевич^{1,2}, Н. Н. Тушин^{1,2}, Н. П. Минько³
A. S. Basak^{1,2}, T. V. Dashkevich^{1,2}, N. N. Tushin^{1,2}, N. P. Minko³

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

³Филиал «Санаторий «Радон» ОАО «Белагроздравица»,

Гродненская область, Дятловский р-н, Республика Беларусь
nastyanevdakh01@bk.ru, dashkevich.tv@gmail.com, nrs@iseu.by, nteco@tut.by
Belarusian State University, BSU

International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Персонал подвергается воздействию радона и его дочерних продуктов распада на рабочих местах в процессе своей профессиональной деятельности. Особый интерес представляют условия облучения работников радоновых лечебниц и курортов. Эффективная доза облучения персонала при отдыхе в радоновых ваннах определяется двумя основными компонентами: внешним облучением тела за счет гамма-излучения короткоживущих дочерних продуктов распада радона, содержащихся в радоновой воде, и внутренним

облучением за счет ингаляционного поступления радона и его ДПР с вдыхаемым воздухом. Для достоверной оценки эффективной дозы облучения персонала радоновых лечебниц и курортов необходимо проведение радиационного контроля рабочего места с последующей оценкой доз с учетом максимально возможных значений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона во время процедур радонотерапии (ванны, ингаляции, орошение). Эквивалентная равновесная объемная активность – концентрация активности радона или торона, находящегося в радиоактивном равновесии с короткоживущими дочерними продуктами его распада, которые имеют ту же концентрацию скрытой энергии альфа-излучения, что и фактическая (неравновесная) смесь.

Personnel are exposed to radon and its daughter decay products in the workplace during their professional activities. Of particular interest are the conditions of irradiation of workers of radon hospitals and resorts. The effective radiation dose of personnel during the release of water radon baths is determined by two main components: external irradiation of the body due to gamma radiation of short-lived daughter products of radon decay contained in radon water, and internal irradiation due to inhalation of radon and its DPR with inhaled air. For a reliable assessment of the effective radiation dose of radon hospitals and resorts personnel, it is necessary to conduct radiation monitoring of the workplace with subsequent dose assessment taking into account the maximum possible values of the equivalent equilibrium volumetric activity (EROA) of radon during radon therapy procedures (baths, inhalations, irrigation). Equivalent equilibrium volumetric activity is the concentration of radon or thoron activity in radioactive equilibrium with short-lived daughter products of its decay, which have the same concentration of latent alpha radiation energy as the actual (nonequilibrium) mixture.

Ключевые слова: радиационная безопасность, персонал, радон, радонотерапия, радиационная защита, эффективная доза, эквивалентная равновесная объемная активность, облучение.

Keywords: radiation safety, personnel, radon, radon therapy, radiation protection, effective dose, equivalent equilibrium volume activity, irradiation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-176-180>

Введение. Изотопы радона – α -активные радионуклиды. Их биологическая опасность во много раз превосходит опасность внутреннего облучения β -, γ - излучателями. Положительно заряженные и тяжелые α -частицы при взаимодействии с веществом расходуют свою энергию на ионизацию и возбуждение атомов среды вплоть до полного торможения. В конце пробега, когда скорость частицы падает, отдача энергии частицами максимальна. Высокое содержание радона и его ДПР в воздухе является радиационным фактором возникновения онкологических заболеваний органов дыхания. Учитывая короткий период полураспада, радиобиологический эффект самого радона невелик, действуют в основном его дочерние продукты – радионуклиды полония, висмута и свинца. Проникая в верхние дыхательные пути и оседая в них, они создают локальные очаги облучения клеток [1].

Опасность радона, помимо вызываемых им функциональных нарушений (астматические приступы удушья, головокружение, тошнота и т.д.), заключается еще и в том, что вследствие внутреннего облучения легочной ткани он способен вызывать рак легких [1].

Основная часть. Общие принципы обеспечения радиационной безопасности при проведении процедур радонотерапии изложены в документах:

1. СНиП «Требования к радиационной безопасности» и ГН «Критерии оценки радиационного воздействия», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения РБ, с дополнением, утвержденным постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28 декабря 2012 №213 (п.29, п.108, п.121);

2. СНиП «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 №137 (п. 230, п.233);

3. СанПиН 2.6.12-6-2005 «Гигиенические требования к устройству, оборудованию и эксплуатации радоновых лабораторий, отделений радонотерапии (радонолечебниц)», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 01.04.2005 №38;

4. Закон Республики Беларусь от 10.10.2022 г. № 208-З «О регулировании безопасности при использовании атомной энергии»;

5. Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 31 мая 2010 г. № 22 об утверждении норм и правил по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Безопасность при обращении с источниками ионизирующего излучения. Общие положения»;

6. Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 16 апреля 2020 г. № 18 «Об обучении и проверке (оценки) знаний по вопросам ядерной и радиационной безопасности».

Радиационный дозиметрический контроль проводится в соответствии с утвержденной Системой радиационного контроля и включает:

1. Контроль мощности экспозиционной дозы излучения на рабочих местах персонала;

2. Индивидуальный дозиметрический контроль внешнего облучения персонала проводится постоянно с регистрацией результатов измерений один раз в квартал;

3. Измерение объемной активности радона в воздухе рабочих помещений и применяемых природных водах 1 раз в год.

Целью дозиметрического контроля является определение степени соблюдения принципов радиационной безопасности и требований нормативов, включая не превышение установленных основных пределов доз и допустимых уровней. Согласно протоколам результатов радиационного обследования, предоставленных санаторием «Радон», эквивалентная равновесная объемная активность изотопов радона в воздухе помещений ванной комнаты принимает значения от 21 до 69 Бк/м³ за 2018 год и от 14 до 357 Бк/м³ за 2021 год, при максимальных значениях 251,6 и 610,5 Бк/м³ соответственно. Результаты представлены в виде таблицы 1. Однако, следует обратить внимание на условия проведения измерений и полученные результаты, представленные в протоколе. Условия проведения измерений недостаточно точно и полно описывают максимально достижимую ЭРОА при условии проведения процедур.

Таблица 1

ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений

Мест измерения, назначения	2018 год		2021 год	
	ЭРОА $^{222}\text{Rn} \pm \Delta$ Бк/м³	Максимальная среднегодовая ЭРОА радона, Бк/м³	ЭРОА $^{222}\text{Rn} \pm \Delta$ Бк/м³	Максимальная среднегодовая ЭРОА радона, Бк/м³
Ванное отделение, точка №1	69±11	240,0	29±6	52,5
Точка №2	58±9	251,6	36±7	161,1
Точка №3	34±6	120,0	357±50	610,5
Точка №4	21±4	75,0	14±3	25,5
Жемчужные ванны	25±5	90,0	163±24	469,1
Кабинет гинекологических орошений	103±15	354,0	24±5	43,5
Кабинет гинекологических орошений, рабочее место медсестры	105±16	363,0	19±4	34,5
Кабинет 4-х камерных ванн, рабочее место медсестры	53±9	186,0	11±3	21,0
Кабинет подводного вытяжения	85±14	297,0	30±6	54,0

По данным, представленным в протоколе была рассчитана эффективная доза облучения персонала.

Эффективная доза внешнего облучения персонала при объемной активности радона (Бк/м³), равной 21 Бк/м³ при продолжительности пребывания на рабочем месте не более 2000 ч в год составляет [2]:

$$E_{out} = 1.65 * 21 \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3} * 120000 \text{ мин} * 10^{-10} = 0,42 \text{ мЗв/год.} \quad (1)$$

Эффективная доза внутреннего облучения персонала за счет ингаляционного поступления радона и его ДПР с вдыхаемым воздухом [2]:

$$E_{inh} = 1.625 * A_{Rn}^{air} * T * 10^{-7}, \text{ Зв/год,} \quad (2)$$

$$E_{ing} = 1,625 * 21 \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3} * 120000 * 10^{-7} = 0,41 \text{ мЗв/год.}$$

Суммарное значение эффективной дозы облучения персонала рассчитывается по формуле:

$$E_{sum} = E_{ing} + E_{out} = 0,42 + 0,41 = 0,83 \text{ мЗв/год.}$$

После дальнейших аналогичных расчетов, была составлена таблица (таблица 2) с результатами эффективной дозы облучения персонала при различных объемных активностях радона и его ДПР для ванного отделения.

Условия проведения единовременных измерений определены следующими документами:

1. ТКП 45-2.03-134-2009 Порядок обследования и критерии оценки радиационной безопасности строительных площадок, зданий и сооружений.

2. МВИ. МН 3862-2011. Методика выполнения измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона-222 и торона-220 в воздухе на радиометре аэрозолей РАА-10.

3. Методические указания МУК РБ № 11-8-6-2002 Проведение радиационно – гигиенического обследования жилых и общественных зданий.

4. Методика измерений мощности эквивалента дозы гамма-излучения дозиметрами и дозиметрами-радиометрами МВИ.МН 1906-2020.

Таблица 2

Результаты расчета эффективной дозы внешнего и внутреннего облучения персонала санатория «Радон»

Место измерения, назначения		2018 год		2021 год	
		Эффективная доза по единовремен. измерению ЭРОА, мЗв	Эффективная доза по среднегод. значению, мЗв	Эффективная доза по единовремен. измерению ЭРОА, мЗв	Эффективная доза по среднегод. значению, мЗв
Ванное отделение, точка № 1	Внешнее	1,37	4,8	0,6	1,0
	Внутреннее	1,35	4,68	0,6	1,0
	Суммарное	2,7	9,4	1,14	2
Точка № 2	Внешнее	1,2	5,0	0,71	3,2
	Внутреннее	1,1	4,9	0,7	3,1
	Суммарное	2,3	9,9	1,4	6,3
Точка № 3	Внешнее	0,67	2,4	7,1	12
	Внутреннее	0,67	2,3	7,0	11,9
	Суммарное	1,3	4,7	14,0	24,0
Точка № 4	Внешнее	0,42	1,49	0,28	0,51
	Внутреннее	0,41	1,47	0,27	0,49
	Суммарное	0,83	2,95	0,56	1

Методические указания МУК РБ № 11-8-6-2002 «Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий» не учитывают проведение обследования в помещениях радонолечебниц и радоновых курортов, а рассчитаны на жилые и общественные здания.

Технический кодекс (ТКП 45-2.03-134-2009), используемый для проведения измерений, устанавливает порядок обследования и критерии радиационной безопасности участков под застройку жилых, общественных и производственных зданий и сооружений различного назначения, построенных, реконструируемых, модернизируемых и капитально ремонтируемых жилых, общественных и производственных зданий и сооружений.

«Методика выполнения измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения дозиметрами и дозиметрами-радиометрами МВИ.ГМ.1906-2020» устанавливает методику выполнения измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения дозиметрами и дозиметрами-радиометрами при проведении радиационного контроля территорий, предприятий, рабочих мест, лесных и сельскохозяйственных угодий, зданий, сооружений, техники, транспорта, металлолома и т.д.

Таким образом, перечень технических нормативно-правовых актов, используемых для радиационного обследования санатория «Радон» не до конца учитывает специфику деятельности радонолечебницы. Соответственно, рассчитанные эффективные дозы облучения персонала по предоставленным данным протокола, могут не соответствовать действительности и в реальности быть несколько выше.

Следовательно, требуется разработка методики проведения радиационного контроля рабочих мест в условиях изменяющихся во времени активностей радона и его дочерних продуктов распада (т.е. с учетом процедур радонотерапии). Это позволит учесть реальные/максимально неблагоприятные с точки зрения формирования дозы облучения условия проведения процедур радонотерапии.

Кроме того, при оценке эффективной дозы необходимо учитывать внутреннее облучение персонала при вдыхании α -излучающего радионуклида радона и его дочерних продуктов распада во время отпуска процедур. Т.е. ингаляционный путь вносит существенный вклад в облучение персонала, что на данный момент не учитывается. Следовательно, планирование дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала начинается с определения условий работы в производственных помещениях, связанных с потенциальным поступлением радионуклидов в организм человека, и количественной оценки возможного значения соответствующей этому поступлению ожидаемой эффективной дозы (ОЭД). Условия работы в производственном помещении характеризуются средним уровнем объемной активности радионуклидов в воздухе и параметрами источника поступления (основным путем поступления является ингаляционное поступление радионуклидов с вдыхаемым воздухом, а основными параметрами являются радионуклидный состав, тип соединения радионуклида и дисперсность, если радионуклид находится в форме аэрозоля) [3].

Основной задачей дозиметрического контроля внутреннего облучения персонала в контролируемых условиях является оценка индивидуальной ОЭД каждого работника, а также определение среднего уровня облучения персонала. Первая характеристика позволяет установить факт не превышения работником установленных преде-

лов доз и допустимых уровней, вторая характеристика позволяет установить эффективность мер по оптимизации доз облучения и числа облучаемых лиц [3].

Заключение. Согласно протоколам результатов радиационного обследования, предоставленных санаторием «Радон», эквивалентная равновесная объемная активность изотопов радона в воздухе помещений ванной комнаты принимает значения от 21 до 69 Бк/м³ за 2018 год и от 14 до 357 Бк/м³ за 2021 год, при максимальных значениях 251,6 и 610,5 Бк/м³ соответственно.

Однако, следует обратить внимание на условия проведения измерений и полученные результаты. Перечень технических нормативно-правовых актов, используемых для радиационного обследования санатория «Радон» не учитывает особенности объекта и, следовательно, условия проведения измерений недостаточно точно и полно описывают максимально достижимую ЭРОА. Соответственно, рассчитанные эффективные дозы облучения персонала по предоставленным данным протокола могут в реальности быть несколько выше.

Для решения проблемы необходимо разработать методику проведения измерений радона и его дочерних продуктов распада в воздухе помещений и воде, применяемой для процедур, что позволит учесть реальные условия облучения (или максимально неблагоприятные, в зависимости от сценария проведения испытаний).

Несмотря на достаточно серьезные биологические эффекты при ингаляционном и пероральном поступлении радона и его продуктов распада внутрь организма при проведении процедур радонотерапии, не существует нормативно-правовых документов или рекомендаций, которые бы позволили оптимизировать, и, при необходимости снижать, уровень ЭРОА и как следствие, эффективную дозу внешнего и внутреннего облучения персонала.

Для решения этих задач необходимо обеспечивать проведение радиационного контроля рабочего места с учетом максимально возможных значений ЭРОА радона при проведении процедур радонотерапии, обеспечить проведение регулярной радонометрии (в т.ч. пассивной радонометрии), медицинское наблюдение за облученными работниками.

Отдельное внимание следует уделить разработке рекомендаций, методических указаний для обеспечения проведения измерений величины объемной активности и ЭРОА радона в воздухе помещений радонолечебниц, а также МЭД гамма-излучения. Это позволит своевременно и достоверно оценивать эффективные дозы облучения персонала, а также принимать решения об оптимизации радиационной защиты персонала при проведении процедур радонотерапии с учетом внутреннего облучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экологическая радиохимия и радиозология: учеб. пособие / Издатель П.Ю. Мархотин. – Минск, 2017. – 386 с.
2. Санитарные правила и нормы «Гигиенические требования к размещению, устройству, оборудованию и эксплуатации радоновых лабораторий, отделений радонотерапии» «Методика расчета эффективных доз облучения пациентов при отпуске радоновых процедур» №4: утверждено главным санитарным врачом РФ 12.01.2015: Введен 12.01.2015. – Минск, 2015. – 7 с.
3. Молоканов, А.А. Развитие системы контроля внутреннего облучения персонала – использование современных технологий / А.А. Молоканов, Б.А. Кухта // Анри. – 2019. – №1 (96). – С. 1–13.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ЗАЩИТНЫХ ВЕЛИЧИН В РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF PROTECTION QUANTITIES IN RADIATION SAFETY

Н. Н. Тушин^{1,2}, О. М. Хаджинова^{1,2}

N. N. Tushin^{1,2}, O. M. Khajynava^{1,2}

¹Белорусский государственный университет, БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь
nrs@iseu.by, nteco@tut.by

¹Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) совместно с Международной комиссией по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ) выпустила отчет относительно операционных величин для контроля внешнего облучения [1], который существенно меняет концепцию использования операционных величин. В недавно представленной публикации МКРЗ 147 [2] также даны предложения по внесению