

Количественная оценка заболеваний раком лёгкого, индуцированным радоном, в Беларуси

Чунихин Л.А.¹, Дроздов Д.Н.², Чеховский А.Л.²

¹ ГНУ Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь;

² Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Гомель, Беларусь

Рак лёгкого, индуцированный радоном, впервые был обнаружен у шахтёров, работавших в условиях повышенной концентрации радона. Причинно-следственная связь была подтверждена при проведении эпидемиологических исследований влияния радона в воздухе жилых помещений на развитие онкологических заболеваний у жителей. Оценка количества заболеваний в результате вдыхания радона требует больших материальных и временных затрат. В работе предложен новый метод определения числа случаев рака лёгкого, индуцированного радоном. Для этого использовали представленные графически зависимости среднего по областям Беларуси стандартизованного показателя заболеваемости раком лёгкого в 1975, 1980, 1985, 1990 гг. от среднего по областям значения объёмной радиоактивности радона в жилых помещениях. Зависимости аппроксимировали линейной функцией с высоким значением коэффициента корреляции: 1975 г. – $r=0,68$; 1980 г. – $r=0,90$; 1985 г. – $r=0,89$; 1990 г. – $r=0,74$. Полученные линейные зависимости для всех выбранных лет исследования имеют близкие по величине углы наклона, что указывает на присутствие в течение длительного времени постоянного фактора, который, по нашим предположениям, обусловлен заболеваемостью радон-индуцированным раком лёгкого. Среднее значение и стандартное отклонение составляют 380 ± 40 . Это 10% от 3910 случаев – максимального числа зарегистрированных всех случаев рака лёгкого в Беларуси в 1990 г. Проведено сравнение полученных данных с данными, представленными в литературе по Швеции и Чехии, – численность населения в этих странах и Беларуси приблизительно одинакова. В Швеции, в отличие от Беларуси, существует стратегия проведения защитных мероприятий для снижения концентрации радона в местах проживания и работы населения. Как следствие, в 1975 г. в Швеции было зарегистрировано 500 случаев «радонового» рака лёгкого из общего числа зарегистрированных 3000 случаев этого заболевания. В Чехии, где такой стратегии нет, число случаев «радонового» рака составило 1000 из 4000. Тенденция изменения стандартизованного показателя развития радон-зависимого рака лёгкого в этих странах сохраняется по настоящее время: в Швеции наблюдается снижение показателя почти в 1,5 раза, в Чехии – увеличение практически в 2 раза. Представленный в работе метод количественной оценки радон-индуцированного рака лёгкого позволит определить степень необходимости разработки стратегии мероприятий по снижению риска возникновения рака лёгкого, вызванного повышенным содержанием радона в жилых и служебных помещениях, у населения Беларуси.

Ключевые слова: радон, объёмная активность, дочерние продукты распада, критическая зона радоновой опасности, эффективная доза, заболеваемость, рак лёгкого, курение.

Введение

Первые доказательства связи заболеваемости раком лёгкого с концентрацией радона в рабочих помещениях были получены в результате эпидемиологических исследований, проведённых среди работников урановых и других шахт [1]. Выводы, сделанные для шахтёров, работавших в условиях повышенных концентраций радона, были распространены согласно линейной беспороговой концепции на область значительно более низких концентраций, наблюдавшихся в жилых помещениях. Впоследствии значения коэффициентов риска, а также половозрастные зависимости заболеваемости раком лёгкого были подтверждены в 13 эпидемиологических исследованиях, проведённых в 9 европейских странах [2]. Проблемы облучения радоном и

Чунихин Л.А.* – ст. науч. сотр., к.б.н., доцент. ИРБ НАНБ. Дроздов Д.Н. – доцент, к.б.н.; Чеховский А.Л. – ассистент каф., к.б.н. ГГУ им. Ф. Скорины.

*Контакты: 246007, Республика Беларусь, Гомель, ул. Федюнинского, 4. Тел. +375 (44) 710-69-64, e-mail: leochun_rcrm@mail.ru.

дочерними продуктами распада (ДПР) и радиационной защиты на рабочих местах и в жилых помещениях были рассмотрены в Публикации 50 МКРЗ 1987 г. и Публикации 60 МКРЗ 1990 г. [3, 4]. В Публикации 65 МКРЗ [5] обсуждаются вопросы защиты от радона в жилых и служебных помещениях, Публикация 115 МКРЗ [6] посвящена эпидемиологическим исследованиям по оценке риска заболеваемости раком лёгкого, индуцированного радоном и его дочерними продуктами распада.

В результате проведённых эпидемиологических исследований влияния радона в жилых помещениях и в шахтах получена оценка риска возникновения рака лёгкого, статистически значимая при среднегодовой объёмной активности радона около 200 Бк/м³ для жилищ и суммарных уровнях профессионального облучения шахтёров примерно в 50 рабочих уровней в месяц (РУМ) [1, 6]. Характерной особенностью полученных результатов является то, что во всех выборках с объёмной активностью радона $C_{Rn} > 50$ Бк/м³ зависимость доза-эффект хорошо описывается линейной функцией [6].

Материалы и методика исследований

Для оценки числа первичных случаев заболеваний раком лёгкого, индуцированных радоном, были использованы обобщённые эпидемиологические данные по онкологическим заболеваниям в Республике Беларусь [7] и результаты исследований, проведённых специалистами ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» (Минск) в течение 2005-2014 гг. для картирования радонового риска на территории Беларуси [8, 9].

Измерение объёмной активности (ОА) радона проводили с использованием интегральных детекторов на основе нитратцеллюлозного слоя плёнки типа Kodak LR 115 Type 2, толщиной 12 мкм, отделённого от полистироловой основы по методике, разработанной в ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» [10, 11].

Продолжительность полной обработки информации со 100 детекторов не превышает 15 часов. Погрешность измерений – 30%.

Стандартизованные по возрасту показатели первичной заболеваемости раком лёгкого на 100 000 населения ($n_i / 100000$) определяли по формуле

$$\lambda = 10^5 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{W_i \cdot n_i}{N_i}, \quad (1)$$

где n_i – число заболевших раком в i -ой возрастной группе, человек; N_i – численность населения в i -ой возрастной группе, человек (на год исследования); W_i – мировой стандарт возрастного распределения населения в i -ой возрастной группе, отн. ед.

Мировой стандарт возрастного распределения, предложенный в 1966 г. в работе [1], и рекомендованный Международным агентством по изучению рака, применяется во всём мире. За стандарт может быть принята возрастная структура населения страны, континента, мира.

Результаты исследования и их обсуждение

Была сделана оценка корреляционных связей между средними по областям Беларуси стандартизованными показателями первичной заболеваемости раком лёгкого в 1975, 1980, 1985, 1990 гг. [7] и средневзвешенными значениями дочернобыльского гамма-фона в этих областях [12]. В работе приведено обоснование значений дочернобыльского гамма-фона как одного из основных косвенных показателей присутствия радона в почве.

По результатам оценки влияния радона на заболеваемость раком лёгкого получены регрессионные уравнения между стандартизованным показателем средней заболеваемости раком

лёгких по областям Республики Беларусь и косвенным показателем радоновой опасности: средневзвешенной по территории областей мощности экспозиционной дозы (МЭД) от природных источников (приводятся величины, используемые на время проведения измерений). Полученные зависимости приведены на рис. 1.

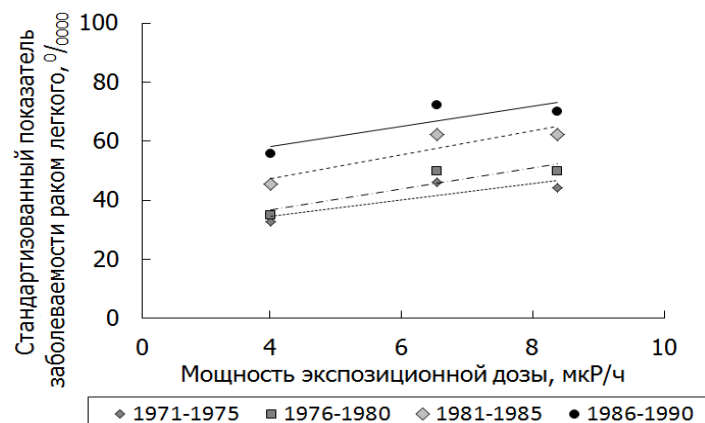


Рис. 1. Зависимость показателя заболеваемости раком лёгкого от мощности экспозиционной дозы.

Приведённые зависимости имеют высокие коэффициенты корреляции при уровне значимости $p < 0,05$ – для 1975, 1980, 1985 и 1990 гг. соответственно 0,83, 0,81, 0,92 и 0,80.

Получение необходимого числа результатов инструментальных измерений концентрации радона в помещениях зданий позволило сопоставить средние по областям значения объёмной активности (ОА) радона с соответствующими стандартизованными показателями заболеваемости раком лёгкого в 1975, 1980, 1985 и 1990 гг. Значения стандартизованного показателя заболеваемости раком лёгкого в период 1975-1990 гг. в сопоставлении со средними по областям Беларуси величинами ОА радона приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сопоставление стандартизованных показателей заболеваемости раком лёгкого в 1975, 1980, 1985 и 1990 гг. со средними значениями объёмной активности радона по областям Беларуси

Область	Среднее значение объёмной активности радона, Бк/м ³	Год			
		1975	1980	1985	1990
Брестская	36	25,6	35,8	44,9	54,0
Витебская	86	44,4	49,8	62,3	70,1
Гомельская	38	32,7	34,9	45,5	55,9
Гродненская	84	31,8	44,1	54,4	58,7
Минская	71	34,7	41,6	54,6	67,4
Могилёвская	77	46,0	49,9	62,4	72,4
Корреляция		0,68	0,90	0,89	0,74

Полученные регрессионные зависимости приведены на рис. 2. Линейные зависимости по всем выбранным годам параллельны и аналогичны представленным на рис. 1. Различный угол наклона можно объяснить несоответствием масштабов X и Y координат и не прямой связью между заболеваемостью раком лёгкого с радиационным фоном Земли.

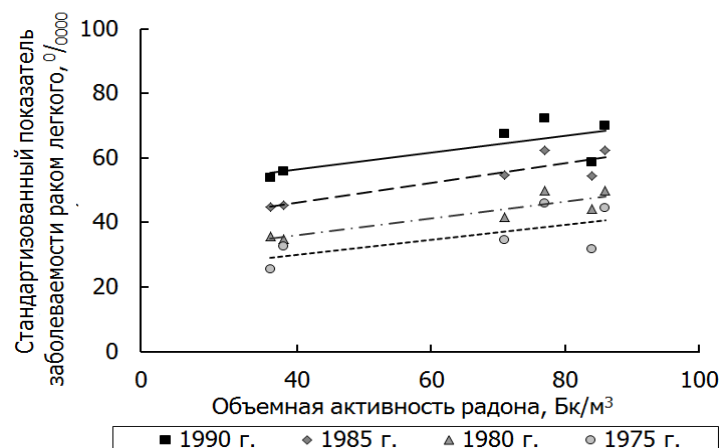


Рис. 2. Зависимость показателя заболеваемости раком лёгкого от объёмной активности радона.

Показанные на рис. 2 линейные регрессии имеют высокие коэффициенты корреляции при уровне значимости $p < 0,05$: 1975 г. – $r = 0,68$; 1980 г. – $r = 0,90$; 1985 г. – $r = 0,89$; 1990 г. – $r = 0,74$. Практически одинаковый угол наклона всех прямых к оси абсцисс позволяет предположить, что рост первичных заболеваний раком лёгкого с годами объясняется постоянно присутствующим фактором риска развития рака, обусловленным воздействием радона.

Как показано на рис. 2, из полученных регрессионных зависимостей можно определить число первичных заболеваний раком лёгкого, индуцированных радоном. На рис. 3 приведена модификация зависимостей (рис. 2), подготовленная к расчёту. Площадь трапеции ABCDE можно интерпретировать как общее число заболеваний раком лёгкого в соответствующем году, она рассчитывается в виде произведения полусуммы оснований $S_{\text{ТРАПЕЦИИ}} = AE \cdot BD / 2$ на высоту DE. Площадь треугольника ABC мы интерпретируем как относительное количество случаев рака лёгкого, индуцированного радоном, и рассчитываем как $S_{\text{ТРЕУГОЛЬНИКА}} = AC / 2 \cdot BC$. Абсолютное число заболеваний раком лёгкого, инициируемых радоном, рассчитываем как долю площади треугольника в общей площади трапеции, соотносённую с общим числом заболеваний раком лёгкого, зарегистрированных в соответствующем году.

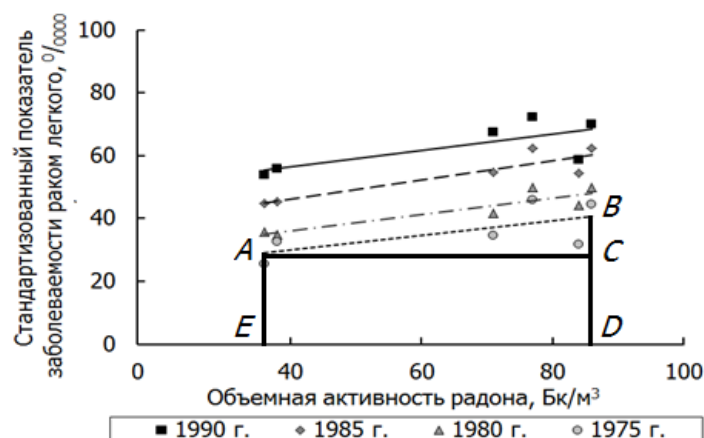


Рис. 3. Зависимости для расчёта числа случаев рака лёгкого, вызванного воздействием радона.

Так, общее число случаев рака лёгкого (N) в 1975, 1980, 1985, 1990 гг. составляло 1774, 2168, 3059, 3910 соответственно [7]. Отношение $S_{\text{ТРЕУГОЛЬНИКА}}/S_{\text{ТРАПЕЦИИ}} \cdot N \cdot 100\%$ показали следующие процентные вклады количества первичных случаев рака лёгкого, вызванного радоном, в общее число случаев: 1975 г. – 19%, 1980 г. – 20%, 1985 г. – 13%, 1990 г. – 9%. Усреднив число случаев «радонового» рака по годам, мы получим оценку количества первичных случаев рака лёгкого, индуцированных радоном, в виде значения 380 ± 40 . По отношению к общему числу первичных случаев рака, зарегистрированных в 1990 г., равному 3910 (максимальная величина по выбранным годам), количество «радоновых» случаев не превышает 10%. Это первоначальная, консервативная оценка, при последующем обсуждении мы расширим интерпретацию данного утверждения.

Структура заболеваемости раком лёгкого в Беларуси имеет особенности, отличающиеся от структуры в большинстве развитых стран мира. Соотношение числа заболевших мужчин и женщин равно 14,6, в то время как в таких странах, как Дания это соотношение равно 1,5, в Швеции – 1,6, Новой Зеландии – 1,8, Норвегии и Англии – 1,9, Ирландии – 2,0, Австралии и Израиле – 2,4, Японии – 3,1. При этом стандартизованные показатели заболеваемости в этих странах находятся в пределах от 23,9 (Швеция) до 48,1 (Англия) [13]. Можно также отметить, что перечисленные страны отличаются по географическому положению, они находятся как в южных, так и в северных широтах. В целом, в европейских странах соотношение «мужчины/женщины» находится в диапазоне примерно 5-7 с небольшими отклонениями: в Испании, Литве – 10,3, в России – 10,1 [13]. Ещё одной особенностью заболеваемости раком лёгкого является превышение случаев первичной заболеваемости у сельских мужчин по сравнению с городскими. У женщин такой эффект не наблюдается. В настоящее время стандартизованные показатели заболеваемости у сельских мужчин также выше, чем у городских [7]. Во всех развитых странах, напротив, рак лёгкого регистрируется чаще у городского мужского населения, чем у сельского [13]. При проведении эпидемиологических исследований в Европе [2] учитывали ещё один доказанный фактор риска развития рака лёгкого – это курение. Одновременное воздействие радона и курения повышает величину абсолютного риска возникновения рака лёгкого в 25 раз. Мы можем только косвенно полагать, что полученная нами оценка тоже обусловлена сочетанным воздействием радона и курения. Это отчасти может объяснить преобладание заболеваемости в сельской местности. Непосредственные наблюдения показали, что в сельской местности курильщиков-мужчин больше, чем в городе, а качество табака существенно ниже. В исследованиях подтверждается мультипликативный характер взаимодействия ингаляционного облучения дочерних продуктов распада радона и спонтанной частотой возникновения рака лёгкого. Относительное увеличение заболеваемости раком лёгкого для курильщиков и некурящих было примерно одинаковое ($\sim 16\%$ на 100 Бк/м^3), в то время как абсолютный риск для них отличался более чем на порядок из-за различной частоты спонтанной заболеваемости [6].

Согласно расчётам Британского бюро защиты от радиации в Великобритании ежегодно погибают 2500 человек от рака лёгкого, вызванного радоном. По данным Агентства окружающей среды в США ежегодно 20 тысяч онкологических заболеваний инициируется радоном и продуктами его распада. В Голландии из 8000 смертей в год от рака лёгкого 1000 относят за счёт радона [6].

Можно сравнить стандартизованный показатель заболеваемости раком лёгкого в Беларуси с тем же показателем в двух странах с равным по численности населением (примерно по 10 млн человек) – в Швеции и Чехии. Разница между ними заключается в том, что, начиная при-

мерно с 1975 г., в Швеции была проведена мощная и широкая противорадовая кампания с всесторонним проведением соответствующих контрмер, включая жёсткие – разрушение домов и выселение из опасных зданий. В Чехии подобные контрмеры не проводились. В 70-х годах значения стандартизованного показателя заболеваемости раком лёгкого во всех трёх странах находились в диапазоне 30-35 [7]. На 1997 г. его значение составляло: для Чехии – 66, Беларуси – 67, Швеции – 24. Число случаев «радонового» рака лёгкого в Швеции на начало противорадовой кампании примерно 500 случаев из 3000, в Чехии – 1000 из 4000 [13]. Из анализа тенденции к уменьшению значения стандартизованного показателя заболеваемости раком лёгкого в Швеции можно сделать вывод, что это уменьшение происходит за счёт снижения влияния «радонового компонента» на развитие рака лёгкого и отказа от курения (одновременно с противорадовой кампанией проходила кампания против табакокурения).

Заключение

В работе представлен новый метод консервативной оценки числа случаев первичной заболеваемости раком лёгкого, обусловленной воздействием радона. Разработка метода стала возможной после долговременных исследований и выполнения достаточного числа измерений ОА радона в жилых и служебных помещениях на всей территории Республики Беларусь для построения карты радонового риска [8], а также благодаря использованию опубликованных данных об онкологических заболеваниях в республике [7]. Результаты проведённой работы позволили получить линейные зависимости среднего по областям Беларуси стандартизованного показателя заболеваемости раком лёгкого в 1975, 1980, 1985, 1990 гг. от среднего по областям значения объёмной активности радона в жилых помещениях, которые убедительно показали присутствие постоянного фактора – рака лёгкого, вызванного повышенным содержанием радона в жилых и служебных помещениях. Новый метод даёт возможность определить степень необходимости разработки стратегии мероприятий по снижению риска возникновения рака лёгкого у населения Беларуси, вызванного повышенным содержанием радона в жилых и служебных помещениях. При этом отмечается, что радон является серьёзной, но не единственной причиной возникновения этого заболевания. Определение степени влияния повышенного содержания радона и курения, как синергически взаимодействующих факторов, способствующих возникновению рака лёгкого, – цель продолжения исследований, в том числе и эпидемиологических.

Литература

1. **Doll R., Payne P., Waterhouse J.A.H.** Cancer incidence in five continents. Geneva: Springer, 1966. 403 p.
2. **Darby S., Hill D., Auvinen A., Barros-Dios J.M., Baysson H., Bochicchio F., Deo H., Falk R., Forastiere F., Hakama M., Heid I., Kreienbrock L., Kreuzer M., Lagarde F., Mäkeläinen I., Muirhead C., Oberaigner W., Pershagen G., Ruano-Ravina A., Ruosteenoja E., Rosario A.S., Tirmarche M., Tomásek L., Whitley E., Wichmann H.E., Doll R.** Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies //BMJ. 2005. V. 330. P. 223-227.
3. ICRP Publication 50. Oxford: Pergamon Press, 1987. 79 p.
4. ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon Press, 1990. 94 p.
5. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах: Публикация 65 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат, 1995. 78 с.
6. Риск возникновения рака лёгкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону: Публикация 115 МКРЗ /под ред. М.В. Жуковского, С.М. Киселёва, А.Т. Губина. М: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. Бурназяна ФМБА России, 2013. 92 с.
7. **Залуцкий И.В., Аверкин Ю.И., Артемова Н.А., Машевский А.А.** Эпидемиология злокачественных новообразований в Беларуси. Минск: Зорны верасень, 2006. 247 с.
8. **Карабанов А.К., Матвеев А.В., Чунихин Л.А., Дроздов Д.Н., Чеховский А.Л., Жук И.В., Ярошевич О.И., Конопелько М.В.** Карта радонового риска Беларуси //Природные ресурсы. 2015. № 2. С. 73-77.
9. **Карабанов А.К., Чунихин Л.А., Дроздов Д.Н., Чеховский А.Л., Жук И.В., Ярошевич О.И., Конопелько М.В., Матвеев А.В.** Радон и дочерние продукты его распада в воздухе зданий на территории Беларуси //Природопользование. 2015. Вып. 27. С. 49-53.
10. Методика определения объёмной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц. МВИ. МН 1111-99. Минск, 2002. 19 с.
11. **Ярошевич О.И., Николаев В.А., Жук И.В., Брылева В.А., Громов А.В., Киевец М.К.** Разработка и метрологическая аттестация методики для массовых измерений объёмной активности радона в жилых и производственных помещениях с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: Отчёт о НИР. Минск: ОИЭЯИ-Сосны НАН Беларуси, 2002. Инв. № 21. 117 с.
12. **Чунихин Л.А., Дроздов Д.Н., Евтушкова Г.Н.** Дочернобыльский природный гамма-фон как показатель проявления канцерогенных свойств радона //Природные ресурсы. 2011. № 1. С. 21-26.
13. GLOBOCAN 2000: Cancer incidence, mortality and prevalence worldwide. Version 1.0. IARC Cancer Base N 5. Lyon: IARC, 2001.

Method for evaluating the number of radon-caused lung cancer cases in Belarus

Chunikhin L.A.¹, Drozdov D.N.², Chekhovskiy A.L.²

¹ Institute of Radiobiology NAS, Gomel, Republic of Belarus;

² Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus

The role of radon in the development of lung cancer was suggested by scientists first noted the high rate of lung cancer incidence among miners worked at mines with high radon concentration. The results of epidemiological studies of lung cancer incidence among residents of homes with increased level of indoor radon confirmed the cause-and-effect relationship. Though research into the role that radon plays in the development of lung cancer and prevention of exposure to radon is of great importance, material and time expenditures for the research are very high. We present less expensive tool for evaluating the number of lung cancer cases associated with inhaled indoor radon. We detected relationship between oblasts-average standardized lung cancer incidence rates in 1975, 1980, 1985, 1990 and average volume radioactivity of residential radon in the same years. These relationships were presented as line graphs. The lines were approximated with line function and high correlation coefficient values related to years under study 1975 – $r=0.68$; 1980 – $r=0.90$; 1985 – $r=0.89$; 1990 – $r=0.74$. Difference in angles slope of approximated linear relationships dated to the years under the study is not large. This "parallelism" can be caused by the permanent existence of a factor associated with the lung cancer incidence induced by radon. Mean value with standard deviation is 380 ± 40 , i.e. 10% of 3910, the highest number of lung cancer cases registered in Belarus in 1990, the year under study. Estimated number of radon-associated lung cancer cases in each year under study were compared with published data on radon-related lung cancer prevalence in Sweden and the Czech Republic – the population size in these countries was similar to that in Belarus. However, Sweden developed radon mitigation strategy and used it in practice, in contrast to the Nordic country Belarus and the Czech did not carry out necessary preventive measures in that time. As the result, out of 3000 lung cancer cases detected in Sweden in 1975 500 cancers were caused by radon, in the Czech Republic the proportion of "radon" cancer cases was higher – 1000 of 4000. The difference in standardized incidence rates of radon-associated lung cancer prevalence in Sweden and the Czech Republic remains: in Sweden the rate reduced by about 1.5 times, in Czech the rate of increase is doubled. The presented method for evaluation of developed radon-caused lung cancer cases can be used in Belarus for making decision on the necessity of measures to prevent the development of lung cancer caused by elevated concentration of radon in homes and working places. In this paper, we did not evaluate the role of the main cause of lung cancer – tobacco smoking, so the results discussed in the study can be interpreted as a combined effect of 2 factors-radon and tobacco.

Key words: *radon, volume radioactivity, radon daughter decay products, radon dangerous critical zone, effective dose, incidence, cancer lung, smoking.*

References

1. Doll R., Payne P., Waterhouse J.A.H. Cancer incidence in five continents. Geneva, Springer, 1966. 403 p.
2. Darby S., Hill D., Auvinen A., Barros-Dios J.M., Baysson H., Bochicchio F., Deo H., Falk R., Forastiere F., Hakama M., Heid I., Kreienbrock L., Kreuzer M., Lagarde F., Mäkeläinen I., Muirhead C., Oberaigner W., Pershagen G., Ruano-Ravina A., Ruosteenoja E., Rosario A.S., Tirmarche M., Tomásek L., Whitley E., Wichmann H.E., Doll R. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*, 2005, vol. 330, pp. 223-227.
3. ICRP Publication 50. Oxford, Pergamon Press, 1987. 79 p.
4. ICRP Publication 60. Oxford, Pergamon Press, 1990. 94 p.
5. Zashchita ot radona-222 v zhilykh zdaniyakh i na rabochikh mestakh: Publikatsiya 65 MKRZ [Protection against radon-222 in residential buildings and workplaces: ICRP Publication 65]. Moscow, Energoatomizdat, 1995. 78 p.

Chunikhin L.A.* – Senior Researcher, C. Sc., Biol., Associate Prof. IRB NAS of Belarus. Drozdov D.N. – Associate Prof., C. Sc., Biol.; Chekhovskiy A.L. – Assis. Res., C. Sc., Biol. Skorina GSU.

*Contacts: 4 Feduninsky str., Gomel, Republic Belarus, 246007. Tel: +375 (44) 710-69-64; e-mail: leochun_rcrm@mail.ru.

6. Risk vzniknoveniya raka legkogo pri obluchenii radonom i produktami ego raspada. Zayavleniye po radonu: Publikatsii 115 MKRZ [The risk of lung cancer when irradiated with radon and the products of its decay. Declaration on Radon: ICRP Publication 115], pod red. M.V. Zhukovskogo, S.M. Kiseleva, A.T. Gubina. Moscow, FGBU GNTS FMBTS im. A. Burnazyana FMBA Rossii, 2013. 92 p.
7. **Zalutskiy I.V., Averkin Yu.I., Artemova N.A., Mashevskiy A.A.** Epidemiologiya zlokachestvennykh novoobrazovaniy v Belarusi [Epidemiology of malignant neoplasms in Belarus]. Minsk, Zornyy verasen', 2006. 247 p.
8. **Karabanov A.K., Matveyev A.V., Chunikhin L.A., Drozdov D.N., Chekhovskiy A.L., Zhuk I.V., Yaroshevich O.I., Konopel'ko M.V.** Karta radonovogo riska Belarusi [Belarus radon risk map]. *Prirodnyye resursy – Natural Resources*, 2015, no. 2, pp. 73-77.
9. **Karabanov A.K., Chunikhin L.A., Drozdov D.N., Chekhovskiy A.L., Zhuk I.V., Yaroshevich O.I., Konopel'ko M.V., Matveyev A.V.** Radon i docherniye produkty ego raspada v vozdukh zdanii na territorii Belarusi [Radon and its daughter products in the air of buildings on the territory of Belarus]. *Prirodopol'zovaniye – Nature Management*, 2015, vol. 27, pp. 49-53.
10. Metodika opredeleniya ob'yemnoy aktivnosti radona v vozdukh zhilykh i proizvodstvennykh pomeshcheniy s ispol'zovaniyem integral'nykh radonometrov na osnove tverdotel'nykh trekovykh detektorov al'fa-chastits [A technique for determining the volumetric activity of radon in air in residential and industrial premises using integrated radon meters based on solid-state track detectors of alpha particles]. MVI. MN 1111-99. Minsk, 2002. 19 p.
11. **Yaroshevich O.I., Nikolayev V.A., Zhuk I.V., Bryleva V.A., Gromov A.V., Kiyevets M.K.** Razrabotka i metrologicheskaya attestatsiya metodiki dlya massovykh izmereniy ob'yemnoy aktivnosti radona v zhilykh i proizvodstvennykh pomeshcheniyakh s ispol'zovaniyem integral'nykh radonometrov na osnove tverdotel'nykh trekovykh detektorov al'fa-chastits [Development and metrological certification of the technique for mass measurements of volumetric activity of radon in residential and industrial premises using integrated radon meters based on solid-state track detectors of alpha particles]. Otchet o NIR. Minsk, OIEYAI-Sosny NAN Belarusi, 2002. Inv. N 21. 117 p.
12. **Chunikhin L.A., Drozdov D.N., Evtushkova G.N.** Dochernobyl'skiy prirodnyy gamma-fon kak pokazatel' proyavleniya kantserogennykh svoystv radona [Dochernobyl natural gamma background as an indicator of carcinogenic properties of radon]. *Prirodnyye resursy – Natural Resources*, 2011, vol. 1, pp. 21-26.
13. GLOBOCAN 2000: Cancer incidence, mortality and prevalence worldwide. Version 1.0. IARC Cancer Base N 5. Lyon, IARC, 2001.