

УДК 535.231.16:546.296(476.2+476.4+476.5)

Определение годовых эффективных доз облучения населения от радона на территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей

Л.А. Чунихин¹, А.Л. Чеховский², Д.Н. Дроздов²

Рассматривается проблема облучения населения естественным радиоактивным газом радоном и его дочерними продуктами распада. Оценка годовых эффективных доз на территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей проведена по моделям МКРЗ и НКДАР ООН. Значения годовых эффективных доз для Гомельской области находятся в пределах 0,68–1,17 мЗв, среднее 0,86 мЗв (МКРЗ) и 1,09–1,90 мЗв, среднее 1,39 мЗв (НКДАР ООН), для Могилевской области в пределах 0,88–2,99 мЗв, среднее 1,58 мЗв (МКРЗ) и 1,43–4,86 мЗв, среднее 2,57 мЗв (НКДАР ООН), для Витебской области 0,96–3,11 мЗв, среднее 1,77 мЗв (МКРЗ) и 1,46–5,06 мЗв, среднее 2,86 мЗв (НКДАР ООН).

Ключевые слова: радон, дочерние продукты распада, объемная активность, эффективная доза, комплексный радоновый показатель.

The problem of irradiating the population with natural radioactive gas radon and its daughter products of decay is considered. Evaluation of annual effective doses in the Gomel, Mogilev and Vitebsk regions was carried out on models ICRP and UNSCEAR. According to these models values of annual effective doses for Gomel region are in range 0,68–1,17 mSv, average 0,86 mSv (ICRP) and 1,09–1,90 mSv, average 1,39 mSv (UNSCEAR), Mogilev region in range 0,88–2,99 mSv, average 1,58 mSv (ICRP) and 1,43–4,86 mSv, average 2,57 mSv (UNSCEAR), Vitebsk region in range 0,96–3,11 mSv, average 1,77 mSv (ICRP) and 1,46–5,06 mSv, average 2,86 mSv (UNSCEAR).

Keywords: radon, decay daughter products, volume activity, effective dose, complex radon index.

Введение. Масштабные исследования различных мировых организаций напрямую указывают на важность и актуальность «радоновой проблемы». Так, согласно оценке Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН, радон и его дочерних продуктов распада (ДПР) определяют примерно 66 % годовой индивидуальной эффективной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации и примерно половину дозы от всех источников радиации [1]. Наиболее значимым и распространенным дозовым фактором является воздействие радона, содержащегося в воздухе помещений жилых и общественных зданий, и на рабочих местах. Радон, являясь компонентом воздуха, попадает в легкие человека при дыхании. По данным ВОЗ, воздействие радона повышает риск возникновения и развития рака легкого [2], вследствие воздействия высокоэнергетического α -излучения при распаде радона и его ДПР на высокочувствительные клетки дыхательной системы. По оценкам экспертов Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) облучение населения за счет радона обуславливает до 15 % общего количества заболеваний раком легкого [3].

Воздействие на человека радона и его ДПР представляет определенные сложности для проведения дозиметрических оценок. Данное воздействие относится к внутреннему облучению и сложно поддается индивидуальному радиационному мониторингу, легко проводимому в случае внешнего радиационного облучения. Вследствие малого периода полураспада ДПР радона мониторинг доз облучения от радона не может быть выполнен стандартными методами, применяемыми при мониторинге внутренних доз облучения. При ингаляции ДПР радона происходит облучение исключительно тканей респираторного тракта, в то время как на остальные органы и ткани человека радиационное воздействие пренебрежимо мало. При этом основное облучение осуществляется короткопробежными, сильноионизирующими α -частицами. Перечисленные факторы приводят к тому, что все дозиметрические оценки облучения человека за счет ингаляционного поступления ДПР радона производятся исключительно косвенными методами.

Необходимо подчеркнуть, что дозы облучения от радона также важны при сравнительном анализе последствий радиационных аварий или штатной деятельности предприятий ядерно-топливного цикла. Это особенно актуально для территории Беларуси в связи с аварией на Чернобыльской АЭС и предстоящим введением в эксплуатацию первой для Респуб-

ки Беларусь атомной электростанции. Такой учет позволяет определить приоритеты реабилитационных мероприятий, направленных на снижение радиационных нагрузок на население, и позволяет уточнить существующую радиационную обстановку с учетом всех источников радиационного воздействия.

Целью настоящей работы являлось определение годовых эффективных доз облучения населения от радона и его ДПР на территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей.

Материалы и методика исследований. Определение средних годовых эффективных доз облучения от радона и его ДПР проводилось через объемную активность (ОА) радона. В настоящей работе использованы результаты измерения ОА радона в жилых зданиях, проведенных ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» (г. Минск) в течение 2005–2015 гг. на территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей [4], [5]. Исследования выполнены согласно методике МВИ. МН. 1111-99: «Методика определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц» [6]. Также использовались данные ОА радона, полученные по методу комплексного радонового показателя (КРП) [7]–[10]. В работах [8], [11], [12] показано, что экспериментальные данные ОА и данные, рассчитанные по модели КРП, согласуются ($F_{\text{эмп}} < F_{\text{крит}}$ при $p > 0,05$) и могут использоваться совместно.

Для оценки средних эффективных доз облучения населения от ингаляционного поступления радона и его ДПР использовались две модели перехода от ОА радона к эффективной дозе: модель МКРЗ и модель НКДАР ООН. В Публикации № 65 МКРЗ предложено использовать прямое сравнение ущерба, связанного с единицей эффективной дозы при внешнем облучении, с единицей экспозиции радона. Значение дозового коэффициента, рассчитанного по Публикации № 65 МКРЗ, составляет $0,017 \text{ мЗв год}^{-1}/\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ОА радона или $6,1 \text{ нЗв}\cdot\text{ч}^{-1}/\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ЭРОА радона на 7000 ч пребывания в жилище [13].

В последствии НКДАР ООН предложена аналогичная модель, в которой была сохранена последовательность расчета перехода от ОА к эффективной дозе. В этой модели учитывалась ОА радона, увеличен коэффициент равновесия ($F = 0,5$), введена доля времени нахождения в помещении (0,8) и на открытом воздухе (0,2) на 8800 ч/год. В результате дозовый коэффициент этой модели увеличился до $0,026 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}/\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ОА радона или $9,0 \text{ нЗв}\cdot\text{ч}^{-1}/\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ЭРОА радона на 8800 ч [1].

В инструкции [14], являющейся нормативным документом для Республики Беларусь при оценке индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения, значение дозового коэффициента принято равным $9 \cdot 10^{-6} \text{ мЗв}\cdot\text{ч}^{-1}/\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, которое соответствует рекомендациям НКДАР-2000 [1]. Однако модель, предложенная в Публикации № 65 МКРЗ [13], до сих пор не потеряла актуальности и активно используется в научных исследованиях. В Публикации МКРЗ № 115 [3] не было предложено альтернативы данной модели. Обе модели могут использоваться для расчета эффективных доз облучения от радона и его ДПР.

Результаты исследований и их обсуждение. В качестве структурной единицы в исследовании использовалось административно-территориальное деление области на районы, которое позволяет учесть разнообразие факторов, обуславливающих формирование эффективной дозы облучения, и имеет достаточную статистическую мощность результатов измерений. Средние районные значения ОА радона, полученные по результатам исследований [4], [5], были пересчитаны в среднегодовые эффективные дозы с учетом дозовых коэффициентов представленных моделей. Средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его ДПР на территории Гомельской области, рассчитанные по моделям МКРЗ и НКДАР ООН, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его ДПР на территории Гомельской области

Район / Область	Модель МКРЗ, мЗв	Модель НКДАР ООН, мЗв
Брагинский	0,68	1,09
Буда-Кошелевский	0,68	1,09
Ветковский	1,06	1,73
Гомельский	1,00	1,63

Добрушский	0,78	1,26
Окончание таблицы 1		
Ельский	0,84	1,36
Житковичский	0,74	1,20
Жлобинский	0,70	1,13
Калинковичский	0,98	1,60
Кормянский	0,84	1,36
Лельчицкий	0,76	1,23
Лоевский	0,68	1,10
Мозырский	1,06	1,73
Наровлянский	1,02	1,66
Октябрьский	1,08	1,76
Петриковский	0,72	1,16
Речицкий	0,72	1,16
Рогачевский	1,17	1,90
Светлогорский	0,76	1,23
Хойникский	0,78	1,26
Чечерский	1,00	1,63

Из таблицы 1 видно, что на территории Гомельской области регистрируются значения годовых эффективных доз облучения населения радоном и его ДПР в пределах 0,68-1,17 мЗв, в среднем 0,86 мЗв по модели МКРЗ и в пределах 1,09–1,90 мЗв, в среднем 1,39 мЗв по модели НКДАР ООН. Учитывая последствия аварии на Чернобыльской АЭС и загрязнение техногенными радионуклидами Гомельской области, определение и уточнение эффективных доз от облучения радоном, как основного компонента естественного радиационного фона, имеет важное научное и практическое значение.

Расчет эффективных доз облучения проводился аналогичным образом для Могилевской области. Средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его ДПР на территории Могилевской области представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его ДПР на территории Могилевской области

Район / Область	Модель МКРЗ, мЗв	Модель НКДАР ООН, мЗв
Бельничский	1,74	2,83
Бобруйский	0,88	1,43
Быховский	1,37	2,23
Глуцкий	1,39	2,26
Горецкий	2,64	4,29
Дрибинский	1,43	2,33
Кировский	1,23	2,00
Климовичский	1,23	2,00
Кличевский	1,23	2,00
Краснопольский	1,11	1,80
Кричевский	2,03	3,29
Круглянский	1,64	2,66
Костюковичский	1,19	1,93
Могилевский	2,21	3,59
Мстиславский	1,68	2,73
Осиповичский	1,29	2,10
Славгородский	1,31	2,13
Хотимский	1,54	2,49
Чаусский	1,35	2,20
Чериковский	1,74	2,83
Шкловский	2,99	4,86

Из таблицы 2 видно, что на территории Могилевской области регистрируются значения годовых эффективных доз облучения населения радоном и его ДПР в пределах 0,88–2,99 мЗв, в среднем 1,58 мЗв по модели МКРЗ и в пределах 1,43–4,86 мЗв, в среднем 2,57 мЗв по модели НКДАР ООН. Необходимо отметить и постепенное увеличение годовой эффективной дозы облучения от радона и его ДПР с юго-запада, юга области к северу. Это обусловлено спецификой изменения экологических и геологических факторов, оказывающих влияние на ОА радона [7]–[9]. При этом районы Могилевской области, наиболее пострадав-

шие от аварии на Чернобыльской АЭС (Быховский, Славгородский, Чериковский, Краснопольский, Костюковичский), характеризуются годовыми эффективными дозами от радона и его ДПР несколько ниже среднего. С другой стороны, на севере области определяются высокие значения годовых эффективных доз облучения от радона, в особенности на территории Горецкого: 2,64 мЗв (МКРЗ) и 4,29 мЗв (НКДАР ООН) и Шкловского 2,99 мЗв (МКРЗ) и 4,86 мЗв (НКДАР ООН) районов. Таким образом, для данных районов характерно превышение средней годовой эффективной дозы облучения от радона и его ДПР: в 1,7 раза для Горецкого и в 1,9 раз для Шкловского района по сравнению со средним значением по области.

Согласно моделям МКРЗ и НКДАР ООН проведен расчет средних годовых эффективных доз облучения населения от радона для Витебской области. Средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его ДПР на территории Витебской области представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Средние годовые эффективные дозы облучения населения от радона и его ДПР на территории Витебской области

Район / Область	Модель МКРЗ, мЗв/год	Модель НКДАР ООН, мЗв
Бешенковичский	0,96	1,46
Браславский	1,88	3,06
Верхнедвинский	1,39	2,26
Витебский	1,55	2,53
Глубокский	2,68	4,36
Городокский	1,15	1,86
Докшицкий	1,20	1,96
Дубровенский	1,11	1,80
Лепельский	1,72	2,79
Лиозненский	1,70	2,76
Миорский	1,90	3,09
Оршанский	1,51	2,46
Полоцкий	1,39	2,26
Поставский	1,78	2,89
Россонский	2,19	3,56
Сенненский	1,84	2,99
Толочинский	2,44	3,96
Ушачский	1,92	3,13
Чашникский	1,58	2,56
Шарковщинский	3,11	5,06
Шумилинский	2,07	3,36

Из таблицы 3 видно, что на территории Витебской области регистрируются значения годовых эффективных доз облучения радоном и его ДПР в пределах 0,96–3,11 мЗв, в среднем 1,77 мЗв по модели МКРЗ и в пределах 1,46–5,06 мЗв, в среднем 2,86 мЗв по модели НКДАР ООН. Характерной особенностью Витебской области является изменение значений средних годовых эффективных доз, обусловленных радоном и его ДПР, в широких пределах: от 0,96 мЗв (МКРЗ) и 1,46 (НКДАР ООН) в Бешенковичском районе до 3,11 мЗв (МКРЗ) и 5,06 (НКДАР ООН) в Шарковщинском районе. При этом отсутствует тенденция к закономерному изменению значений средних годовых эффективных доз с севера на юг (как, например, в Могилевской области) или с запада на восток. В целом, районы со значениями годовых эффективных доз выше средних располагаются хаотично, и только в западной части области наблюдается группа районов (Шарковщинский, Глубокский, Миорский, Ушачский) граничащих между собой и формирующих потенциальную зону радоноопасности.

Особый интерес вызывает тот факт, что Витебская область является наименее пострадавшей областью от аварии на Чернобыльской АЭС, при этом значения средних годовых эффективных доз облучения от радона и его ДПР являются одними из наибольших на территории Республики Беларусь.

Заключение. Таким образом, согласно моделям МКРЗ и НКДАР ООН значения средних годовых эффективных доз облучения населения от радона и его ДПР для Гомельской области находятся в пределах 0,68–1,17 мЗв (МКРЗ) и 1,09–1,90 мЗв (НКДАР ООН), для Могилевской об-

ласти в пределах 0,88–2,99 мЗв (МКРЗ) и 1,43–4,86 мЗв (НКДАР ООН), для Витебской области 0,96–3,11 мЗв (МКРЗ) и 1,46–5,06 мЗв (НКДАР ООН). В целом, средние значения годовых эффективных доз на территории Витебской области 1,77 мЗв (МКРЗ) и 2,86 (НКДАР ООН), что несколько выше значений Могилевской области 1,58 мЗв (МКРЗ) и 2,57 мЗв (НКДАР ООН), и значительно выше, чем на Гомельской области 0,86 мЗв (МКРЗ) и 1,39 мЗв (НКДАР ООН). Учитывая последствия аварии на Чернобыльской АЭС и загрязнение техногенными радионуклидами значительной части территории Республики Беларусь, определение и уточнение средних годовых эффективных доз от облучения радона и его ДПР имеет важное научное и практическое значение. Такие исследования необходимы как с целью расчета дозы облучения, получаемой населением от всех источников (естественных и искусственных), так и с целью сопоставления доз, формируемых чернобыльскими радионуклидами, в сравнении с естественными радиационным фоном.

Литература

1. Источники и эффекты ионизирующего излучения. Отчет НКДАР ООН 2000 года Генеральной Ассамблеи с научными приложениями / под ред. Л.А. Ильна, С.П. Ярмоненко. – М. : РАДЭКОН, 2002. – Т. 2. – 319 с.
2. Радон и рак: информационный бюллетень. – Женева : ВОЗ, 2005. – № 291. – 4 с.
3. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону / под ред. М.В. Жуковского, С.М. Киселева, А.Т. Губина ; Перевод публикации № 115 МКРЗ. – М. : ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2013. – 92 с.
4. Радон и дочерние продукты распада в воздухе зданий на территории Беларуси / А.К. Карабанов, А.В. Матвеев, Л.А. Чунихин, Д.Н. Дроздов, А.Л. Чеховский, И.В. Жук, О.И. Ярошевич, М.В. Конопелько // Природопользование. – 2015. – Вып. 27. – С. 49–53.
5. Карта радонового риска Беларуси / А.К. Карабанов, Л.А. Чунихин, Д.Н. Дроздов, А.Л. Чеховский, И.В. Жук, О.И. Ярошевич, М.В. Конопелько // Природные ресурсы. – 2015. – № 2. – С. 73–78.
6. Методические указания / Методика определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц: МВИ. МН 1111-99. – Минск : Белорусский государственный институт метрологии, 2002. – 19 с.
7. Чеховский, А.Л. Определение критических зон радоноопасности по методу комплексного радонового показателя и картированию радонового риска / А.Л. Чеховский // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2015. – № 6 (93). – С. 46–52.
8. Чеховский, А.Л. Картирование территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей по комплексному радоновому показателю и объемной активности радона в жилых зданиях / А.Л. Чеховский, Д.Н. Дроздов // Радиация и риск. – 2016. – Т. 25. – № 4. – С. 126–136.
9. Чеховский, А.Л. Картирование и оценка радоновой обстановки Гомельской, Могилевской и Витебской областей / А.Л. Чеховский, Л.А. Чунихин, Д.Н. Дроздов // Известия Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2015. – № 3 (90). – С. 71–76.
10. Чеховский, А.Л. Методический подход по оценке радоновой опасности территории / А.Л. Чеховский, Л.А. Чунихин, Д.Н. Дроздов // АНРИ. – 2017. – № 1 (88). – С. 50–54.
11. Чеховский, А.Л. Оценка радоноопасности некоторых населенных пунктов Лиозненского района / А.Л. Чеховский // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2017. – № 1 (17). – С. 93–99.
12. Чеховский, А.Л. Оценка радоновой опасности на примере некоторых населенных пунктов Лиозненского района Витебской области / А.Л. Чеховский // Вестнік Мазырскага дзяржаўнага педагогічнага ўніверсітэта імя І.П. Шамякіна. – 2017. – № 2 (50). – С. 50–57.
13. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах / Публикация № 65 МКРЗ. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 78 с.
14. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. Инструкция 2.6.1.10-12-22-2006. – Минск : Минздрав Республики Беларусь, 2008. – 20 с.

²Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины»

Поступила в редакцию 08.12.2017

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ