

**ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ГОДОВОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ОТ РАДОНОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ВЛАДИМИРА**

© 2015 М.И. Семченко, Т.А. Трифонова, Л.А. Ширкин

Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Статья поступила в редакцию 23.11.2015

Были даны прогнозные оценки значений индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей и характеристика радиационной опасности среды помещений от радонового облучения на территории города.

*Ключевые слова:* радон, эквивалентная равновесная объемная активность, внутреннее облучение, индивидуальная годовая эффективная доза, радоноопасность территории.

**ВВЕДЕНИЕ**

Радон является доминирующим источником облучения населения, его вклад в суммарную дозу оценивается величинами, превышающими 50% [1]. Всемирная организация здравоохранения констатирует, что радон является второй по значимости причиной рака легких во многих странах. Радон считается причиной рака легких в 3 – 14 % случаев в каждой отдельной стране, в зависимости от среднего уровня концентрации радона на территориях [2]. Непосредственную радиационную опасность для населения представляет не столько сам радон, сколько его дочерние продукты распада (ДПР). ДПР радона поступают в респираторный тракт и становятся источниками внутреннего  $\alpha$  облучения организма. Однако именно радон, являющийся инертным газом обладает высокой миграционной способностью и может накапливаться в воздухе помещений, достигая высоких значений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) [3].

Эффекты воздействия радона на здоровье человека имеют стохастический характер, вероятность реализации которых зависит от индивидуальной эффективной дозы облучения и времени, прошедшего после облучения. Эффективная доза есть мера радиологического ущерба, не рассматривая возможность реализации этого ущерба в виде возникновения у облученного какого-то заболевания в оставшийся период жизни. Комиссия МКРЗ считает, что система защиты, включающая в себя эффективную дозу, является наиболее приемлемым подходом для защиты от облучения и источников облучения. Более того, попытка ввести различия в пределах

этой системы защиты между индивидами на основе факторов образа жизни, непосредственно не связанных с радиационным облучением, привела бы к неоправданной сложности без улучшения защиты и к системе, которая будет излишне обременительной и, возможно, селективной [4]. Данные исследований, представленные в 115 публикации МКРЗ, показали, что повышенный риск возникновения радиационно-индуцированного рака легкого существует и при относительно небольших уровнях объемной активности радона, характерных для значительной доли жилищ. Также был подтвержден мультипликативный характер взаимодействия ингаляционного облучения ДПР радона и спонтанной частотой возникновения рака легкого. Основная причина рака легких, вызванная экспозицией радона в домах, это вовсе не высокие концентрации радона, а средние или умеренные его концентрации.

В связи с этим целью настоящего исследования явилась оценка статистических параметров индивидуальной годовой эффективной дозы для прогнозирования радиационной опасности среды помещений от радонового облучения на территории г. Владимир.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

*Объектом исследований* явился воздух в помещениях, расположенные на первых, полуподвальных и подвальных этажах зданий, радон в которых накапливается в результате эксхалации с поверхности грунта. Обследованию подвергались эксплуатируемые жилые и общественные здания различного типа на территории г. Владимира.

*Предметом исследования* являются статистические параметры распределения равновесной объемной активности изотопов радона и индивидуальной эффективной дозы в различных частях города Владимира. Владимир – город в России, административный центр Владимирской области. Расположен преимущественно на

*Семченко Максим Игоревич, аспирант.*

*E-mail: takc77757@yandex.ru*

*Трифопова Татьяна Анатольевна, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой экологии.*

*Ширкин Леонид Алексеевич, кандидат химических наук, доцент.*

левом берегу реки Клязьмы, в 176 км к востоку от Москвы. На территории города грунты сформированы на серых лесных и дерново-подзолистых почвах. Площадь города 124,59 км<sup>2</sup>, численность населения на 2014 год составила 350 тыс. человек. На территории города насчитывается около 2,8 тыс. зданий. При этом численность экспонируемой популяции, т.е. популяции проживающих и работающих на первых этажах зданий оценивается нами величиной 76,89 тыс. чел.

Замеры объёмной активности радона в воздухе помещений проводились в жилых и общественных зданиях г. Владимира в разное время года на протяжении 3-х лет. Проанализированы результаты около 200 замеров по данным обследований 60 помещений, расположенных в панельных, кирпичных и одноэтажных деревянных зданиях, на территории 3 административных районов г. Владимир, без пригородов.

Объёмную активность радона измеряли радиометром радона (марки РРА-01М-01 «Альфа-рад»). Радиометр РРА-01М-01 предназначен для экспрессных измерений объёмной активности Rn<sup>222</sup> в воздухе помещений. Предел допускаемой основной относительной погрешности в поддиапазоне от 20 до 100 Бк·м<sup>-3</sup> ± 30 %, в поддиапазоне от 100 до 2.0·10<sup>4</sup> Бк·м<sup>-3</sup> ± 20 %. Он применяется для комплексного радиационно-гигиенического обследования территорий и используется для работы в полевых условиях. При проведении измерений были установлены и закрыты все окна и двери, закончены внутренние отделочные работы, производство которых обычно связано с периодическим открыванием окон и дверей [4].

Переход от ЭРОА к эффективной дозе выполнен в соответствии с условным дозовым переходом (dose conversion convention) на основании равенства ущербов, а не на дозиметрических моделях. Используется данный метод к облучению ДПР радона. В докладе 2000 г. НКДАР признал, что более поздние расчеты с использованием новых дозиметрических моделей привели к более высоким значениям коэффициента перехода к дозе [5]. Однако с учетом меньшего значения, рассчитанного на основе условного дозового перехода [6], было принято решение, что значение 9 нЗв на Бк·ч·м<sup>-3</sup> (ЭРОА) хорошо укладывается в диапазон возможных значений и поэтому его следует использовать в расчетах доз облучения [5, 7].

Индивидуальная годовая эффективная доза ( $E$ , Зв/год) внутреннего облучения взрослых жителей на территории населенного пункта за счет ингаляции короткоживущих материнских дочерних продуктов изотопов радона рассчитывалась для точек замеров на территории г. Владимир по данным оценок ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по формуле [8]:

$$E = 1.05 \times 9.0 \cdot 10^{-9} \times t \times (0.2A_{\text{ул}} + 0.8A),$$

где  $9.0 \cdot 10^{-9}$  – дозовый коэффициент (Зв/(час·Бк/м<sup>3</sup>)),

принимаемый в соответствии с докладом НКДАР ООН за 2000 г. (UNSCEAR, 2000);  $t = 8800$  ч – время годовой экспозиции для населения; 0.8 и 0.2 – доля времени нахождения людей в помещениях и на улице; 1.05 – коэффициент, учитывающий вклад материнских радионуклидов, т.к. – <sup>220</sup>Rn и <sup>222</sup>Rn вносят дополнительный вклад в эту дозу, составляющую примерно 5 % от дозы облучения за счет короткоживущих дочерних продуктов радона и торона;  $A$  – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений, Бк/м<sup>3</sup>;  $A_{\text{ул}} = 6.5$  Бк/м<sup>3</sup> – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе на открытой территории населенного пункта, принятое в соответствии с данными о среднемировых значениях ЭРОА изотопов радона в приземном слое атмосферного воздуха.

Прогнозные оценки значений индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей для точек замеров на территории г. Владимир обрабатывались аналогичным образом, по таким же формулам, что и для ЭРОА изотопов радона. Оценивались центральная тенденция  $E_{\text{ц}}$ , функция распределения плотности вероятности  $p(E)$  согласно единой аналитической модели экспоненциальных распределений, верхняя оценка по эффективной дозе  $E_{\text{max}}$ , вероятность  $P$  регистрации значений индивидуальной эффективной дозы на территории в определенном диапазоне значений  $E$ .

Анализ статистических параметров распределения индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей позволяет дать характеристику радиационной опасности среды помещений от радонового облучения на территории города.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

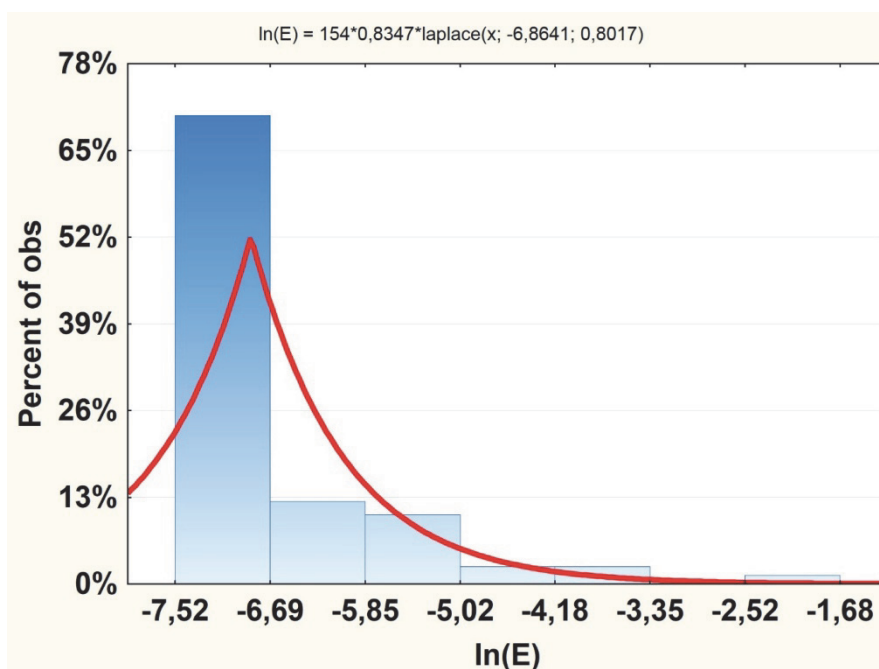
Расчет индивидуальной годовой эффективной дозы для внутреннего облучения взрослых жителей на территории города за счет ингаляции короткоживущих материнских и дочерних продуктов изотопов радона выявил вариацию значений от 0.5 до 186 мЗв/год.

Статистика распределения значений индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей г. Владимира удовлетворительно описывается логарифмически Лапласовой функцией (рис. 1).

Статистика распределения частот встречаемости для значений индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей г. Владимира может быть описана логарифмически Лапласовым распределением:

$$p(E) = 0.882 \exp\left(-\left|\frac{\ln(E) + 6.864}{0.567}\right|\right).$$

Центральная тенденция для значений индивидуальной годовой эффективной дозы состав-



**Рис. 1.** Гистограмма распределения значений индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения взрослых жителей населенного пункта за счет материнских и короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона в воздухе

ляет  $E_{II} = 1.05$  мЗв/год, а среднее квадратичное отклонение для  $\ln(E)$  составляет  $\sigma = 0.8017$ .

Вероятность превышения эффективной дозы внутреннего облучения 5 мЗв/год для взрослого населения г. Владимир не превышает 3.2 %. Вероятность получить эффективную дозу облучения от 5 до 10 мЗв/год составляет 2.2 %. Вероятность получить эффективную дозу, превышающую 10 мЗв/год оценивается величиной 0.9 %.

Полученные статистические параметры и вероятностные оценки основаны на непосредственных наблюдениях, измерениях объемной активности радона и позволяет дать предварительную характеристику радиационной опасности среды помещений от радонового облучения на территории города.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Ситуация, когда облучение населения считается повышенным (от 5 до 10 мЗв/год), встречается в 2.2 % случаев, а высокий уровень облучения (свыше 10 мЗв/год) – в 0.9 % случаев. Отсюда численность экспонируемой популяции г. Владимир с индивидуальной эффективной дозой внутреннего облучения до 5 мЗв/год может быть оценена величиной 74.51 тыс. чел., а с повышенной и высокой индивидуальной эффективной дозой свыше 5 мЗв/год – 2.38 тыс. чел.

Следует отметить, что численные значения вероятных уровней дозовых нагрузок, используемых для качественной характеристики радиационной опасности среды помещений, справедливы для населения, находящегося внутри жилых помещений около 80 % времени. Это

означает, что эффект биологического воздействия радона на органы человеческого организма рассматривается как не зависящий от назначения помещения. При этом возможны очень высокие индивидуальные годовые дозы, требующие безусловных защитных мероприятий. Но даже при малых дозах облучения предполагается, что множественность механизмов, высокая вариабельность проявлений, отсутствие способности к адаптивному ответу при ряде условий делает развитие адаптивного ответа практически непредсказуемым [9].

### ВЫВОДЫ

Эффект биологического воздействия радона на органы человеческого организма может рассматриваться как не зависящий от назначения помещения. При этом в силу выраженной асимметрии кривых распределений возможны очень высокие индивидуальные годовые дозы, требующие безусловных защитных мероприятий. Таким образом, представляется возможным на основе данных измерений с заданной степенью точности дать прогнозную характеристику радиационной опасности среды помещений на урбанизированной территории.

Следует учитывать, что эффективная доза для природных источников ионизирующего излучения, как правило, не нормируется, а сама эффективная доза есть мера радиологического ущерба, не рассматривая возможность реализации этого ущерба в виде возникновения у облученного какого-то заболевания в оставшийся период жизни. Поэтому количественно оценить

последствия облучения от природных источников только на основе изучения распределения индивидуальных эффективных доз не представляется возможным. Здесь необходимо использовать прогнозно-аналитические технологии, например, анализ существующего радиационного риска и популяционного ущерба. Данные исследований, представленные в 115 публикации МКРЗ [1], показали, что повышенный риск возникновения радиационно-индуцированного рака легкого существует и при относительно небольших уровнях объемной активности радона, характерных для значительной доли жилищ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115. Ann. ICRP 40 (1). Retrieved 24.03.2015 from [http://www.icrp.org/docs/P115\\_russian%20edition.pdf](http://www.icrp.org/docs/P115_russian%20edition.pdf).
2. WHO, 2009. WHO handbook on indoor radon: a public health perspective. World Health Organization. 2009. ISBN: 9789241547673, pp: 108. Retrieved 24.03.2015 from [http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241547673_eng.pdf).
3. *Baias P., Hofmann W., Winkler-Heil R. et al.*, 2010. Lung dosimetry for inhaled radon progeny in smokers. *Radiat. Prot. Dosim.* 138, 111 – 118 DOI: 10.2768/22829. Retrieved 24.03.2015 from <http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/168.pdf>.
4. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2 – 4). Retrieved 24.03.2015 from [http://www.icrp.org/docs/P103\\_Russian.pdf](http://www.icrp.org/docs/P103_Russian.pdf).
5. UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. United Nations, New York.
6. ICRP, 1993. Protection against radon-222 at home and at work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2).
7. UNSCEAR, 2009. UNSCEAR, 2006 Report. Annex E. Sources-to-Effects Assessment for Radon in Homes and Workplaces. United Nations, New York.
8. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Методические указания МУ 2.6.1.1088-02. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 22 с. – Retrieved 24.03.2015 from <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=129480>.
9. *Пелевина И.И., Алещенко А.В., Антощина М.М.3, Бирюков В.А., Рева Е.В., Минаева Н.Г.* Изменение радиочувствительности после облучения в малых дозах, возможные механизмы и закономерности // Радиационная биология. Радиоэкология. 2015. №1. С. 57-62.

#### THE FORWARD-LOOKING ASSESSMENT OF INDIVIDUAL ANNUAL EFFECTIVE DOSE FROM RADON RADIATION ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF VLADIMIR

© 2015 M.I. Semchenko, T. A. Trifonova, L.A. Shirkin

Vladimir State University named after A.G. Stoletov and N.G. Stoletov

Given forecasts of the individual values of the annual effective internal dose of the adult population and the characteristic radiation hazard protection facilities of radon exposure in the city.

*Keywords:* radon, equivalent equilibrium volume activity, internal exposure, individual annual effective dose, radon safety area.

---

*Maxim Semchenko, Graduate Student.*

*E-mail: makc77757@yandex.ru*

*Tatyana Trifonova, Doctor of Biology, Professor, Head at the Ecology Department.*

*Leonid Shirkin, Candidate of Chemistry, Associate Professor.*