

УДК 614.8.086.5

**Н.В. Бакаева**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск) (e-mail: natbak@mail.ru)

**А.В. Калайдо**, ст. преподаватель, Луганский государственный университет им. Тараса Шевченко, (e-mail: kalaydo18@mail.ru)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДОНА В ЗДАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

*В современном жилье (особенно новом) присутствует широкий спектр вредных, а подчас – и опасных факторов физической и химической природы. Но наибольшую угрозу здоровью человека, безусловно, несет ионизирующее излучение (ИИ). Проблема снижения дозы облучения населения источниками ИИ актуальна по причине отсутствия безопасных уровней радиации (беспороговый характер действия).*

*Большую часть годовой дозы радиоактивного облучения (от 70 до 95%) население Российской Федерации получает в жилых и служебных помещениях от радона и его дочерних продуктов распада. Уровни радона в помещениях испытывают серьезные временные (суточные и сезонные) и пространственные вариации, что затрудняет определение среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности – нормируемого показателя содержания радона в воздухе помещений. В то же время, наибольшая эффективность противорадоновых мероприятий достигается в том случае, когда они реализуются максимально близко к источникам поступления радона в помещения. В статье показано различие механизмов поступления радона в помещения нижних и верхних этажей зданий, произведена оценка эффективности защитных мероприятий для помещений с высокими уровнями радона.*

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, жилые и общественные помещения, радон, дочерние продукты распада, доза, защитные мероприятия.

\*\*\*

Жизнь большей части населения РФ неразрывно связана с городом, причем урбанизированные территории существенно усилили взаимодействие человека с природной средой [1]. Согласно [2], от 18 до 50% причин заболеваний обусловлены качеством окружающей среды. А поскольку современный человек в год около 7000 часов проводит в помещениях (5000 в жилых и еще 2000 – в служебных), то качеству внутренней среды должно уделяться не меньшее внимание, чем состоянию городских территорий. Тем более, что улучшение жилищных условий ведет к повышению благосостояния населения, а это – предпосылка социальной и экономической стабильности государства [3].

В современном жилье (особенно новом) присутствует широкий спектр вредных, а подчас – и опасных факторов физической и химической природы. Но наибольшую угрозу здоровью человека, безусловно, несет ионизирующее излучение (ИИ). Проблема снижения дозы облучения населения источниками ИИ актуальна по причине отсутствия безопас-

ных уровней радиации (беспороговый характер действия).

Современными исследованиями [4 – 8] установлено, что основная доза облучения населения (от 70 до 95%) формируется в закрытых помещениях за счет радона и его дочерних продуктов распада (ДПР). Благородный газ радон (основной изотоп –  $^{222}\text{Rn}$ ) практически безопасен для человека, он формирует не более 2% дозы внутреннего облучения. Но распадаясь в воздухе помещений, он образует ионизированные короткоживущие ДПР, которые являются тяжелыми металлами. Эти ДПР адсорбируются на мелкодисперсной пыли и аэрозолях комнатного воздуха, попадают в легкие при дыхании и по причине малого периода полураспада не успевают вывестись из них, испытывая там цепочку альфа- и бета-распадов. Поэтому доза облучения в помещениях не в последнюю очередь определяется чистотой воздуха внутренней среды.

Нормирование облучения населения радоном в РФ осуществляется по среднегодовой эквивалентной равновесной объ-

емной активности (ЭРОА), величина которой не должна превышать  $200 \text{ Бк/м}^3$  для эксплуатируемых зданий и  $100 \text{ Бк/м}^3$  – для проектируемых (согласно Нормам радиационной безопасности НРБ-99/2009). По сути, данные величины являются предельно допустимыми уровнями радона в помещениях, что уже само по себе противоречит беспороговой концепции действия радиации.

Для уровней радона в жилых помещениях характерны значительные суточные и сезонные вариации, что затрудняет корректное определение среднегодовой величины ЭРОА. Поэтому, с целью оптимизации защиты от облучения в зданиях, рядом ученых предлагается использовать среднегодовой референтный уровень (РУ) в единицах объемной активности (ОА) радона в  $200 \text{ Бк/м}^3$  ( $80 - 100 \text{ Бк/м}^3$  в единицах ЭРОА) [9, 10].

Отдельным аспектом является проблема воздействия радона на детский организм, поскольку доза облучения существенно зависит от возраста. Относительный риск развития рака легкого в результате облучения ДПР радона у детей до 10 лет выше, чем у взрослых [11].

Главной задачей радиационного мониторинга зданий и сооружений является определение доминирующего механизма и основного источника поступления радона. Радонозащитные мероприятия наиболее эффективны в том случае, когда они реализуются максимально близко к основному источнику поступления, а знание доминирующего механизма позволяет определить среднегодовую величину ЭРОА с достаточной точностью.

В рамках радиационного мониторинга застройки города Луганска было выполнено порядка 2500 измерений, из них более половины – в помещениях Луганского государственного университета имени Тараса Шевченко и дошкольных образовательных учреждениях (ДОУ) наиболее радоноопасного Каменнобродского района города.

Измерения ЭРОА радона проводились методом фильтров при помощи радиометра ДПР радона «АТЛЕШ-1М», приборная погрешность которого составляла  $\pm 5 \text{ Бк/м}^3$ . Для исследования динамики в радиометре был реализован алгоритм циклических измерений без замены фильтра, позволявший регулировать периодичность измерений и объем прокачиваемого воздуха, изучать механизмы поступления радона в помещения.

Результаты исследований показали, что основным источником поступления радона в помещения нижнего этажа является почва под зданием, а на верхних этажах – выделение радона из строительных материалов. Высокие активности радона регистрировались и на верхних этажах зданий, что свидетельствует о вовлечении радона в движение воздушных потоков внутри здания.

При исследовании суточной динамики поступления радона на нижних этажах зданий чаще всего наблюдался один максимум в произвольное время суток, изменения ЭРОА не коррелировали с изменениями разности температур внутри и снаружи помещения. На основании этого можно сделать вывод о залповом поступлении радона в помещения нижнего этажа. В то же время, для помещений верхних этажей имел место выход ЭРОА радона на насыщение в течение двух-трех часов после начала измерений и дальнейшие незначительные колебания уровней около данного значения, что может свидетельствовать о диффузионном механизме поступления.

На величину уровней радона определенное влияние оказывает степень герметичности оболочки зданий – помещения нижних этажей с оконными ограждениями в виде стеклопакета имели уровни радона на  $10 - 15 \text{ Бк/м}^3$  выше. Обработка результатов измерений по всем циклам измерений дала следующие результаты: среднегодовая ЭРОА радона в помещениях университета –  $55,3 \pm 3,8 \text{ Бк/м}^3$ ; мощность дозы гамма-излучения строй-

материалов –  $0,102 \pm 0,002$  мкЗв/ч. Это соответствует годовым дозам облучения 1,32 мЗв от ДПР радона и 0,20 мЗв от гамма-излучения естественных радионуклидов, содержащихся в строительных материалах.

Время пребывания в помещениях университета принималось равным 2000 ч/год, при переходе от экспозиции к дозе облуче-

ния радоном использовался конверсионный множитель  $11,9$  нЗв/(Бк·ч/м<sup>3</sup>), косвенно приведенный в стандарте безопасности «Защита населения от природных источников излучения в зданиях» (DS421) [12].

Измерения ЭРОА, выполненные в ДООУ Каменнобродского района, показали высокие уровни радона в трех из них (табл.).

Результаты радиационного мониторинга ДООУ

ДООУ, адрес	ЭРОА, Бк/м <sup>3</sup>	МЭД <sub>пом</sub> , мкЗв/ч	МЭД <sub>ул</sub> , мкЗв/ч	Годовая доза, мЗв
ДООУ «Ясли-садик № 57», ул. Рудя, 91	220,7	0,115	0,125	5,53
«Детский сад № 10», ул. Рудя, 73, а	165,7	0,105	0,125	4,20
ДООУ «Ясли-садик комбинированного типа № 55», ул. 21-го Мюда, 54	244,5	0,110	0,125	6,09
ДООУ «Ясли-садик № 97», ул. Артема, 100	27,0	0,115	0,125	0,92

При расчете годовой дозы время пребывания детей в помещении принималось 2000 ч/год и еще 400 ч/год – пребывание на территории ДООУ.

Исследование эффективности противорадоновых мероприятий производилось в частном жилье, уровни радона в котором соответствуют средним по Каменнобродскому району. Объект исследования представлял двухэтажное здание, фундамент – бетонная отмостка на щебеночном основании, средние ЭРОА представлены на рис. 1. Повышенная радоноопасность Каменнобродского района, по видимому, объясняется высокой трещиноватостью формирующего подстилающую поверхность мергеля и присутствием сразу двух разломов Северодонецкого наддвига.

Одним из наиболее эффективных методов противорадоновой защиты является вентиляция. Согласно [13], для обеспечения безопасного уровня радона в помещениях достаточно обеспечить кратностью воздухообмена  $0,5$  час<sup>-1</sup>. Исследование эффективности естественной вентили-

ляции производилось следующим образом: непосредственно после измерения активности радона ( $ЭРОА_0 = 392$  Бк/м<sup>3</sup>,  $t_{пом} = 21^\circ\text{C}$ ) осуществлялось проветривание жилого помещения на протяжении 30 мин при температуре наружного воздуха  $t_{воз} = 2,6^\circ\text{C}$ . В дальнейшем измерения ЭРОА радона выполнялись с интервалом в один час, динамика ее в помещении представлена на рис. 2.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Основным источником поступления радона в частное жилье является почва под зданием, на верхних этажах многоэтажных зданий преобладает эманирование радона из строительных материалов.

2. Исследование в ЛГУ имени Тараса Шевченко показали, что 87% годовой дозы, получаемой студентами и сотрудниками в помещениях, формирует радон и его ДПР, остальное приходится на гамма-излучение материалов ограждающих конструкций.

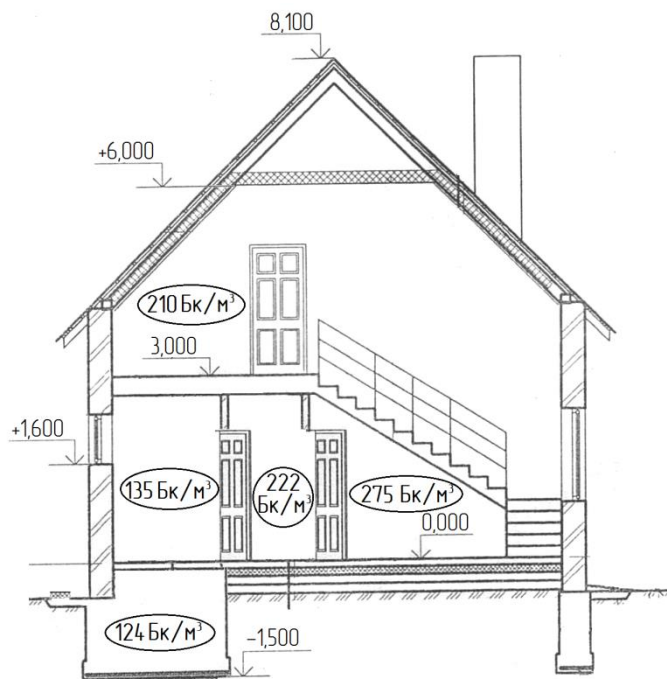


Рис. 1. Средние уровни радона в объекте исследования



Рис. 2. К оценке эффективности естественной вентиляции

3. Изменение активности радона в воздухе помещений носит сложный аperiodический характер, мало согласующийся с изменением разности температур воздуха снаружи и внутри помещения.

4. Проветривание является достаточно эффективным методом снижения ЭРОА радона в воздухе помещений. При продолжительности проветривания в 30 мин не превышение национального контрольного уровня было обеспечено на

11,5 часов, а для восстановления температурного режима в помещении потребовалось менее 45 мин.

#### Список литературы

1. Поздняков А.Л., Самохвалов А.М. Урбанизация и ее влияние на экологию городов и поселений // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2014. – № 6 (57). – С. 74 – 78.

2. Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Борисов М.В. Предложения к оценке параметров рекреационных зон биосферосовместимых жилых микрорайонов города // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2014. – № 4 (8). – С. 91 – 99.

3. Бредихин В.В. Анализ современного состояния городской жилищной среды // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5 – 1 (38). – С. 160 – 162.

4. Клинская Е.О., Христофорова Н.К. Содержание радона в воздухе помещений Еврейской автономной области // Радиационная гигиена. – 2012. – Т. 5. № 1. – С. 20 – 24.

5. Кормановская Т.А. Дозы природного облучения населения Сибирского Федерального Округа // Вести МАНЭБ в Омской области. – 2013. – № 3. – С. 13 – 16.

6. Павленко Т.А., Костянецкий М.И., Аксенов Н.В. Оценка доз облучения населения Запорожской области // Вестник гигиены и эпидемиологии. – 2006. – Т. 10. № 1. – С. 103 – 106.

7. Мирончик А.Ф. Естественные радиоактивные вещества в атмосфере и воздухе жилых помещений Республики Беларусь // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2007. – № 4 (17). – С. 162 – 171.

8. Обмеження опромінення людини за рахунок радону в контексті історично-

го розвитку цього питання / А.І. Севальнев, М.І. Костенецький, А.В. Куцак, Л.В. Шаравара // Запорожский медицинский журнал. – 2011. – Т. 13. № 1. – С. 41 – 43.

9. Ярмошенко И.В., Онищенко А.Д., Жуковский М.В. Проблемы оптимизации защиты от радона и введения референтного уровня в Российской Федерации // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7. № 4. – С. 67 – 71.

10. Стамат И.П. Ограничение облучения населения за счет природных источников излучения в зданиях: проект новых стандартов безопасности МАГАТЭ // Радиационная гигиена. – 2013. – Т. 6. № 2. – С. 27 – 30.

11. Сидельникова О.П. Радиационно-экологические аспекты при строительстве зданий // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 3 (47). – С. 46 – 51.

12. IAEA SAFETY STANDARDS for protecting people and the environment. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Natural Sources of Radiation. Draft Safety Guide No. DS421. – Vienna, April 2012. – 92 p.

13. Ахременко С.А., Полехина С.В., Шерстюк Е.А. Современные способы противорадоновой защиты зданий // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2015. – № 4 (12). – С. 66 – 72.

*Получено 14.03.16*

**N.V. Bakaeva**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk) (e-mail: natbak@mail.ru)

**A.V. Kalaydo**, Senior Lecturer, Luhansk Taras Shevchenko State University (e-mail: kalaydo18@mail.ru)

## **MECHANISM OF RADON PRESENCE IN BUILDINGS AND EFFICIENCY OF PROTECTIVE MEASURES**

*In modern housing (especially in new one) there is a wide spectrum of harmful and often dangerous factors of physical and chemical nature. But the greatest threat for human health, of course, is in the ionizing radiation (IR). The problem of reducing radiation dose is of great importance because of the lack of safe radiation levels (non-threshold action nature).*

*In the Russian Federation population gets a large part of annual irradiation dose (from 70 to 95%) from radon and its decay products in residential and office rooms. Indoor radon level seriously depends on temporal (diurnal and seasonal) and spatial variations, it makes difficult to determine the annual average equivalent equilibrium volumetric activity – normalized indicator of radon content indoor. At the same time, the highest efficiency of radon measures is achieved when they are held close to radon sources in apartments. The article shows the difference of the mechanisms of radon presence on lower and higher building floors. In this article the assessment of protective measures effectiveness for areas with high levels of radon is given.*

*Key words: environmental security, residential and public rooms, radon, subsidiary of decay products, dose, protective actions.*

\*\*\*

## References

1. Pozdnjakov A.L., Samohvalov A.M. Urbanizacija i ee vlijanie na jekologiju gorodov i poselenij // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2014. – № 6 (57). – S. 74 – 78.
2. Kolchunov V.I., Skobeleva E.A., Borisov M.V. Predlozhenija k ocenke parametrov rekreacionnyh zon biosferosovmestimyh zhilyh mikrorajonov goroda // Biosfernaja sovmestimost': chelovek, region, tehnologii. – 2014. – № 4 (8). – S. 91 – 99.
3. Bredihin V.V. Analiz sovremennogo sostojanija gorodskoj zhilishhnoj sredy // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2011. – № 5-1(38). – S. 160 – 162.
4. Klinskaja E.O., Hristoforova N.K. Soderzhanie radona v vozduhe pomeshhenij Evrejskoj avtonomnoj oblasti // Radiacionnaja gigiena. – 2012. – T. 5. № 1. – S. 20 – 24.
5. Kormanovskaja T.A. Dozy prirodnogo obluchenija naselenija Sibirskogo Federal'nogo Okruga // Vesti MANJeB v Omskoj oblasti. – 2013. – № 3. – S. 13 – 16.
6. Pavlenko T.A., Kostjaneckij M.I., Aksenov N.V. Ocenka doz obluchenija naselenija Zaporozhskoj oblasti // Vestnik gigieny i jepidemiologii. – 2006. – T. 10. № 1. – S. 103 – 106.
7. Mironchik A.F. Estestvennye radioaktivnye veshhestva v atmosfere i vozduhe zhilyh pomeshhenij Respubliki Belorus' // Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta. – 2007. – № 4 (17). – S. 162 – 171.
8. Obmezhennija oprominennja ljudini za rahunok radonu v konteksti istorichnogo rozvitku c'ogo pitannja / A.I. Seval'nev, M.I. Kostenec'kij, A.V. Kucak, L.V. Sha-ravara // Zaporozhskij medicinskij zhurnal. – 2011. – T. 13. № 1. – S. 41 – 43.
9. Jarmoshenko I.V., Onishhenko A.D., Zhukovskij M.V. Problemy optimizacii zashhity ot radona i vvedenija referentnogo urovnja v Rossijskoj Federacii // Radiacionnaja gigiena. – 2014. – T. 7. № 4. – S. 67 – 71.
10. Stamat I.P. Ogranichenie obluchenija naselenija za schet prirodnyh istochnikov izluchenija v zdanijah: proekt novyh standartov bezopasnosti MAGATJe // Radiacionnaja gigiena. – 2013. – T. 6. № 2. – S. 27 – 30.
11. Sidel'nikova O.P. Radiacionno-jekologicheskie aspekty pri stroitel'stve zdanij // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2013. – № 3 (47). – S. 46 – 51.
12. IAEA SAFETY STANDARTS for protecting people and the environment. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Natural Sources of Radiation. Draft Safety Guide No. DS421. – Vienna, April 2012. – 92 p.
13. Ahremenko S.A., Polehina S.V., Sherstjuk E.A. Sovremennye sposoby protivoradonovoj zashhity zdanij // Biosfernaja sovmestimost': chelovek, region, tehnologii. – 2015. – № 4 (12). – S. 66 – 72.