

УДК 551.521.2

**РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА РАДОНА В ВОЗДУХЕ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ
НЕКОТОРЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЮГА РОССИИ****Бураева Е.А., Попов Ю.В., Дергачева Е.В., Колесников И.А.,
Михайлова Т.А., Кубрина В.К., Проценко В.В.***Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону,**e-mail: buraeva_elena@mail.ru, whitmouse92@yandex.ru, popov@sfedu.ru*

В работе представлены данные по содержанию радона в некоторых жилых зданиях на Юге России. Оценка объемной активности радона в жилых помещениях, расположенных в различных ландшафтных условиях Юга России и различающихся конструктивными особенностями, позволила выявить основные факторы, определяющие распределение этого газа. В многоэтажном здании (на территории г. Ростова-на-Дону) повышение концентрации радона (до 35–40 Бк/м³) связано с сезонным режимом проветривания. В малоэтажных домах индивидуальной застройки (где зафиксированы вариации ²²²Rn в помещениях одного здания в интервале ~30–140 Бк/м³) распределение концентраций определяется планировкой здания (включая вентиляционные коммуникации) и использованными строительными материалами. Годовые индивидуальные эффективные дозы облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения составляют 1,4–10,3 мЗв.

Ключевые слова: радон, распределение, объемная активность, тектоника, геологическое строение, строительные материалы

**THE RESULTS OF RADON MONITORING IN THE AIR OF RESIDENTIAL
BUILDINGS AT SOME AREAS OF SOUTH OF RUSSIA****Buraeva E.A., Popov Yu.V., Dergacheva E.V., Kolesnikov I.A.,
Mikhaylova T.A., Kubrina V.K., Protsenko V.V.***Southern Federal University, Rostov-on-Don,**e-mail: buraeva_elena@mail.ru, whitmouse92@yandex.ru, popov@sfedu.ru*

The paper reports the data of the radon content among buildings of some regions in the South of Russia. The volume activity assessment of radon in residential accommodations has identified the primary factors that determine the distribution of the gas. All buildings are differed in construction characteristics and situated at various landscape conditions of the South of Russia. Due to the seasonal mode of ventilation the radon volume activity amounts to 35–40 Bq/m³ in the high-rise building in the Rostov-on-Don territory. The seasonal variations of radon content depend on weather conditions of the region and vent mode of the apartment building. In the low-rise houses of individual building (the radon volume activity varies in ~30–140 Bq/m³ in premises of a building) the distribution of radon content depends on house plan (including ventilation construction) and construction materials. At the expense of natural sources of ionizing rays, the annual effective dose limit on exposure of citizens amounts to 1,4–10,3 mZv.

Keywords: radon, distribution, volume activity, tectonics, geological structure, building materials

Одним их наиболее опасных источников ионизирующего излучения, практически постоянно воздействующих на здоровье человека, является благородный газ радон (²²²Rn) и продукты его распада [1–4, 7], способные накапливаться в зданиях. Распределение объемной активности радона ($A_{об}$) в помещениях определяется сложным сочетанием факторов, среди которых следует выделить геологическое строение территории, конструкцию здания и состав использованных для его возведения материалов, режим эксплуатации (включая характер и режимы вентилирования) [4].

Изучение содержания и накопления радона в жилых зданиях и оценка облучения населения за счет этого газа является достаточно сложной задачей, актуальной во всех регионах мира. Оценка радоноопасности территорий и зданий является важным

пунктом в радиационной безопасности человека, поэтому объемная активность радона ($A_{об}$) в жилых и служебных помещениях регламентирована Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009 [3]. Целью настоящего исследования является оценка содержания радиоактивного газа радона в разных типах жилых помещений регионов.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования настоящей работы являются некоторые жилые помещения регионов Юга России (г. Ростов-на-Дону, пос. Ковалевка Аксайского р-на Ростовской обл. и ст. Ивановская Красноармейского р-на Краснодарского края). Данные получены по результатам радиоэкологических экспедиций 2012–2015 годов.

Здание в г. Ростове-на-Дону построено в 2011 году имеет металлобетонный каркас, обложенный силикатным кирпичом. Внутри отделка стен и потолка штукатурная и гипсокартонная, пол застелен плиткой. Данное здание имеет подвальное помещение,

которое может служить экраном, препятствующим поступлению радона на первый этаж, и снабжено центральным отоплением, то есть внутри здания не сжигается ни уголь, ни газ, способствующие прямому поступлению радона в помещения.

Объектом исследования в поселке Ковалевка является частный дом, построенный также в 2011 году. Каркасно-щитовое здание, основным строительным материалом которого является дерево – потолок и стены деревянные, с утеплителем из каменной ваты, пол деревянный, снаружи виниловый сайдинг. Отопление от сетевого газа, внутри здания стоит газовый котел. При сгорании газа некоторое количество ^{222}Rn выходит по трубе в окружающую среду, а так как радон тяжелый газ, он оседает близ здания, соответственно часть продуктов сгорания будет накапливаться непосредственно в самом помещении.

Объектом исследования в ст. Ивановской стал частный одноэтажный дом 1970 года постройки, и с достроенными в 2011 году комнатами. Все здание построено из керамического кирпича снаружи и со шлакоблочными перегородками внутри, отделка штукатурная. В комнатах старой постройки пол деревянный, потолок мазанный (глина и солома). В новых комнатах пол залитый (бетонный), потолок гипсокартонный. Отопление от сетевого газа, внутри здания стоит газовый котел.

Объемную активность радона в воздухе помещений определяли с помощью радиометра радона РРА-01М-03, а также методом пассивной сорбции с использованием оборудования на основе активированного угля для комплексного мониторинга радона в производственных условиях, жилищах и окружающей среде и сцинтилляционным спектрометром «Прогресс-Гамма». Предварительно в исследуемых помещениях измеряли мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (гамма-фон) с использованием поискового дозиметра-радиометра СРП-88Н.

Метод измерения средней объемной активности радона в воздухе помещений с применением активированного угля основан на экспонировании в течение 1–6 суток открытых с одного конца сорбционных колонок СК-13, заполненных регенерированным активированным углем. В каждой комнате расставляли по 35 сорбционных колонок СК-13 на период от 4 до 6 дней на высоте 1 метр от поверхности пола. По окончании экспонирования активированный уголь из

сорбционных колонок пересыпали в специальную счетную геометрию ИК-63.

Измерение гамма-спектра от дочерних продуктов распада радона ^{214}Pb и ^{214}Bi проводили на сцинтилляционном спектрометре «Прогресс-Гамма» в течение 3060 минут. Погрешность определения объемной активности радона в воздухе помещений не превышала 1015 %.

Результаты исследования и их обсуждение

В Российской Федерации в качестве основного критерия оценки радиоактивного загрязнения территории используется мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭД, мкЗв/ч). Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (интенсивность облучения) – приращение эквивалентной дозы под воздействием гамма-излучения за единицу времени.

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения («гамма-фон») природных территорий в основном обусловлена излучением от радионуклидов, содержащихся в почве (таких как естественные радионуклиды рядов ^{238}U , ^{232}Th и ^{40}K , искусственный ^{137}Cs) плотностью потока радона с поверхности почвы и от космического излучения (в том числе и от солнечной радиации).

На рис. 1 представлены примеры распределения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в Ростовской области и Краснодарского края.

Мощность эквивалентной дозы (МЭД) гамма излучения на исследуемых территориях варьирует в очень широких пределах. На территориях Ростовской области и Краснодарского края МЭД гамма-излучения составляет 0,08–0,20 мкЗв/ч, при среднем значении 0,13 мкЗв/ч, и 0,14–0,17 мкЗв/ч, при среднем значении 0,15 мкЗв/ч соответственно.

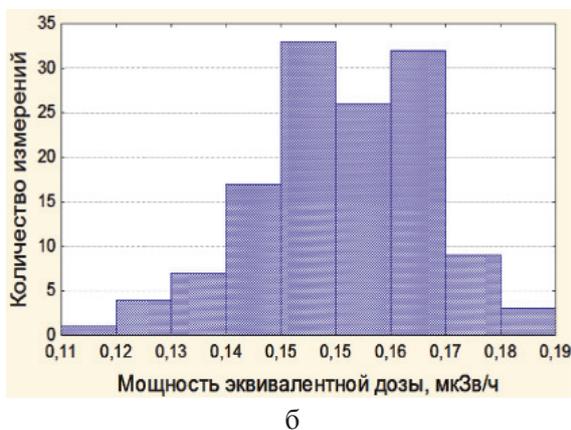
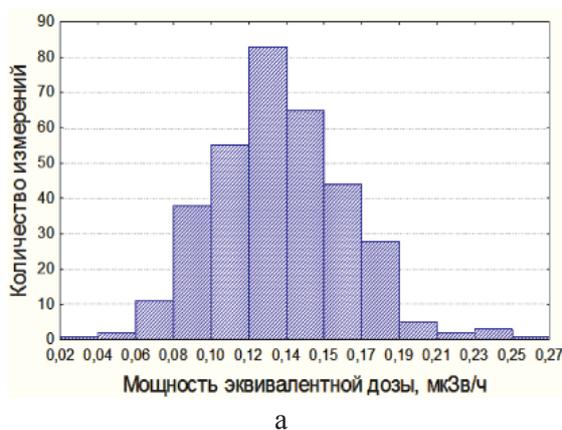


Рис. 1. Распределение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в Ростовской области (а) и Краснодарском крае (б)

В целом же гамма-фон исследуемых территорий не превышает значения, установленного «Нормами радиационной безопасности» НРБ-99/2009 (0,30 $\mu\text{Зв/ч}$) и соответствует среднемировым значениям (в среднем 0,10 $\mu\text{Зв/ч}$).

Объемную активность радона в жилых зданиях на первых этажах измеряли в г. Ростов-на-Дону, п. Ковалевка (Ростовская область) и с. Ивановская (Краснодарский край). Полученные значения для A_{06} радона для г. Ростова-на-Дону и поселка Ковалевка в среднем составляют 12–30 Бк/м³, для станицы Ивановской данные варьируют в пределах 42–140 Бк/м³. В табл. 1 представлены результаты оценки содержания радона на первых этажах рассматриваемых жилых объектов.

Для зданий в г. Ростове-на-Дону и п. Ковалевка средние содержания радона составляют на первом этаже 12–30 Бк/м³. Результаты проведенного мониторинга объемной активности ²²²Rn в 13-этажном здании (рис. 2) выявляют отсутствие снижения значений с этажностью, объясняемое эманиацией радона из конструкционных материалов,

соизмеримой с поступлением с поверхности почвы (подстилаемой комплексом неоген-четвертичных осадочных пород). При этом примечательными являются сезонные вариации, проявляющие существенное накопление газа в осенний период, объясняемое режимом проветривания жилых комнат (наихудшим в период отсутствия отопления).

Для сравнения представлены данные, полученные в 5-этажном здании в Турции (рис. 3) [7]. Анализ этих данных позволяет выявить иную динамику – климатические особенности региона с более мягким климатом определяют ухудшение вентилирования в наиболее холодный сезон; поэтажное распределение объемной активности радона указывает, что основным источником служит эманиация радона с поверхности почвы.

Относительно высокие значения содержания радона выявлены в здании в Ивановская (табл. 1), представляющем собой частный кирпично-шлакоблочный с деревянной кухней дом, схема которого с указанием МЭД и A_{06} радона приведена на рис. 4.

Таблица 1

Среднее содержание ²²²Rn на первых этажах жилых зданий

Объект	Средняя $A_{06} \pm \text{Погр.}$, Бк/м ³	Примечания
г. Ростов-на-Дону	12,2 \pm 1,3	13-этажное каркасное металлобетонное здание
пос. Ковалевка Ростовской области	29,9 \pm 3,1	1-этажный частный дом, основной строительный материал – дерево
ст. Ивановская Краснодарского края	79,7 \pm 8,5	1-этажное кирпично-шлакоблочное здание с деревянной кухней и разным материалом полов

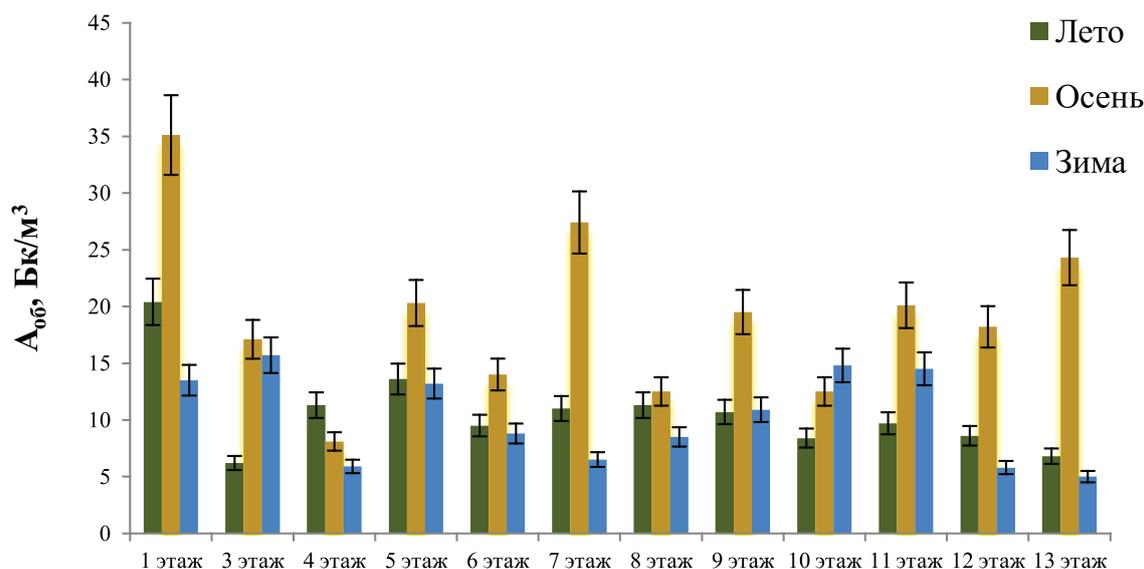


Рис. 2. Сезонное распределение радона по этажам

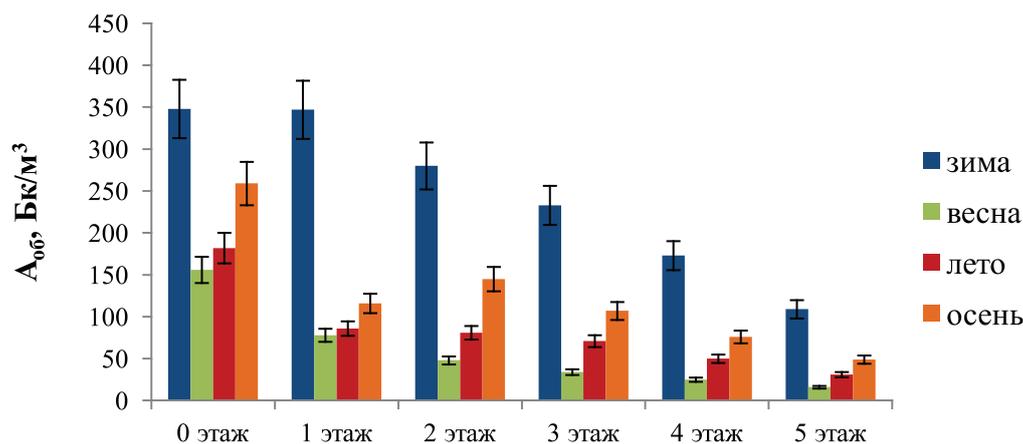


Рис. 3. Сезонное распределение радона по этажам в Турции [7]

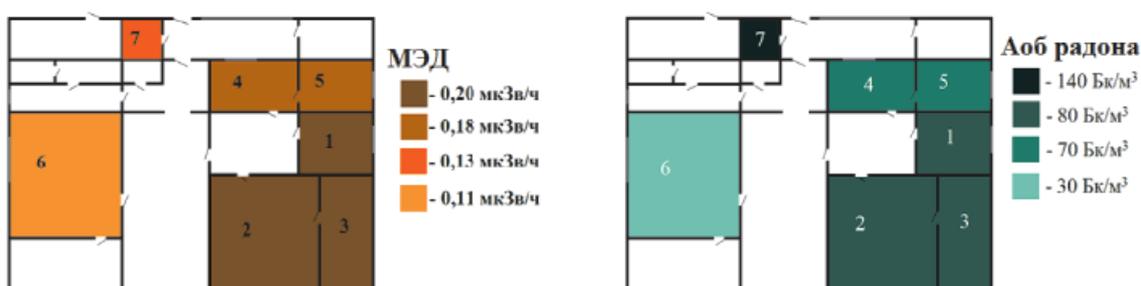


Рис. 4. Схема жилого дома:

1–3 – старые спальни (деревянный пол); 4–5 – новые спальни (бетонный пол + шлакоблочная перегородка стен); 6 – кухня (застеленный плиткой пол + деревянные стены); 7 – подсобное помещение (шлакоблочные стены)

Анализ данных отражает сложное сочетание влияния факторов, влияющих на распределение радона. Значения мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения в комнатах 1–3 (в среднем ~0,20 мкЗв/ч) и $A_{об}$ радона (~ до 140 Бк/м³) обусловлены прямым поступлением радона из почвы через деревянные полы. Полы с бетонной стяжкой в помещениях 4 и 5 значительно снижают поступление радона из почв (рис. 4).

Наиболее высокие значения – в подсобном помещении 7, где МЭД гамма-излучения составляет в среднем ~0,13 мкЗв/ч, а $A_{об}$ радона достигает 140,3 Бк/м³. Накоплению радона способствует как отсутствие постоянной вентиляции, так, вероятно, и наличие относительно повышенных содержаний радионуклидов в материале шлакоблоков, из которых возведены все стены помещения. Сочетание экранирующего естественные эманации пола и отсутствия связанных со строительными конструкциями источников в помещении 6 определяет минимальные значения радиоактивности.

С учетом полученных данных проведены ориентировочные расчеты индивидуальной годовой эффективной дозы (ЭД) внутреннего облучения взрослых жителей населенного пункта за счет короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона в воздухе. По данным ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений и атмосферном воздухе на территории населенного пункта такая доза рассчитывается по формуле

$$E_{вн, Rn} = 9,0 \cdot 10^{-6} \cdot 8800 \cdot (a \cdot A_{экр, ул} + b \cdot A_{экр, здан}) = 0,01584 \cdot (A_{экр, ул} + 4 \cdot A_{экр, здан}), \text{ мЗв [5]},$$

в которой приняты следующие обозначения: $9,0 \cdot 10^{-6}$ – дозовый коэффициент (в единицах мЗв/(ч·Бк/м³)), принимаемый в соответствии с докладом НК ДАР ООН за 2000 г. [5]; $A_{экр, i}$ – среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе на открытой территории населенного пункта (индекс «ул.») и жилых зданиях («здан.») соответственно; 8800 – стандартное число часов в году; a , b – доля времени нахождения людей в помещениях и на улице соответственно; a – для городского региона 0,2; для сельского реги-

Таблица 2

Оценка индивидуальных эффективных доз (ЭД) облучения населения,
за счет природных источников ионизирующего излучения

Объект	ЭД, мЗв	²²² Rn		ЭД + ²²² Rn, мЗв	
		ср, мЗв	макс, мЗв	ср, мЗв	макс, мЗв
г. Ростов-на-Дону	0,5	0,9	2,3	1,4	2,9
пос. Ковалевка Ростовской области	0,5	1,4	4,0	2,0	4,7
ст. Ивановская Краснодарского края	0,8	5,2	9,0	6,3	10,3

она 0,4; b – для городского региона 0,8; для сельского 0,6.

Для изучаемых территорий была рассчитана доза облучения населения от гамма-фона и газа радона. При вычислении дозы облучения человека, время нахождения внутри помещения принято равным 13 часам. В табл. 2 показаны результаты оценки индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения в помещении.

Данные указывают, что все участки относятся к зонам радиационного контроля (полученные значения годовой ЭД превышают 1 мЗв). В таких зонах помимо мониторинга радиоактивности объектов окружающей среды, сельскохозяйственной продукции и доз внутреннего и внешнего облучения населения и критических групп осуществляются меры по снижению доз на основе принципа оптимизации и другие необходимые активные меры защиты населения [3]. В качестве меры защиты населения в поселках с частной малоэтажной застройкой, где значения $A_{об}$ радона в помещениях даже одного здания существенно варьируют из-за специфики планировки, отсутствия необходимых вентиляционных коммуникаций и различия строительных материалов, информирование о возможном влиянии ионизирующего излучения на здоровье и необходимых профилактических мерах должно являться первостепенной задачей.

Заключение

Приведенные данные о значениях и вариациях объемной активности радона в жилых зданиях отражают сложное сочетание

факторов, среди которых решающее значение в создании условий для повышения концентрации радона имеют сезонный режим вентилирования зданий, определяемый климатическими особенностями конкретного региона, и строительные решения, не учитывающие необходимость создания эффективной системы вентилирования (в заданиях индивидуальной малоэтажной застройки за счет этого достигаются содержания вплоть до могущих привести к ущербу для здоровья).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), грант 16-05-00930 А и в рамках проектной части внутреннего гранта Южного федерального университета (Тема № 213.01.-07.2014/13ПЧВГ).

Список литературы

1. Бекман И.Н. Радон: друг врач и помощник // МГУ. – 2000. – 205 с.
2. Васильев А.В. Радонная безопасность современных многоэтажных зданий: дис. ... канд. техн. наук. – Е.: 2014. – С. 14–15.
3. СанПин 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Утверждены и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации Г.Г. Онищенко от 7 июля 2009 г № 47 с 01 сентября 2009 г. – URL: <http://base.garant.ru/4188851>.
4. Сердюкова А.С. Изотопы радона и продукты их распада в природе / А.С. Сердюкова, Ю.Т. Капитанов. – М.: Атомиздат, 1975. С. 297.
5. Стагат И.П. Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: методическое пособие / И.П. Стагат, А.М. Барковский. Э.М. Кристюк. – СПб., 2002. – С. 11–15.
6. Dubois G. An overview of radon surveys in Europe. Luxemburg, 2005.
7. Kurnaz A. Radon level and indoor gamma doses in dwellings of Trabzon, Turkey / A. Kurnaz, B. Kucukomeroglu, U. Cevikan, N. Celebi // Applied Radiation and Isotopes. – 2011. – № 69. – P. 15541559.