

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

УДК: 546.296:614.72+613.5(477.62)(1-21)

В.С. Котов<sup>1</sup>, Л.В. Марьенко<sup>2</sup>, А.В. Сергиенко<sup>2</sup>**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДОНА-222 В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ ГОРОДА ДОНЕЦКА***Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького<sup>1</sup>,  
Донецкий городской лабораторный центр государственной санитарно-эпидемиологической службы ДНР<sup>2</sup>*

**Реферат.** Проанализированы результаты изучения радоновой обстановки в помещениях различного назначения города Донецка за 2010–2013 годы. Эквивалентная равновесная объемная активность радона-222 в воздухе помещений изменялась от 11,4 Бк/м<sup>3</sup> до 358,6 Бк/м<sup>3</sup>, в 7 % исследованных помещений она была выше допустимой величины. В теплый период года активность выше, чем в холодный период. Частотная характеристика значений активности имела логнормальный характер, медиана 32 Бк·м<sup>-3</sup>. Активность радона в воздухе возрастала в последовательности: школьные — административные — жилые — производственные помещения. Сделан вывод о необходимости разработки комплекса профилактических мероприятий по предупреждению негативного воздействия радона на население.

**Ключевые слова:** радон-222, воздух помещений, Донецк

**Введение.** По данным Международной комиссии по радиологической защите ООН наибольшая часть дозы облучения (около 80 % от общей), получаемой населением в обычных условиях, связана с природными источниками радиации. Более половины этой дозы обусловлено присутствием газа радона и его дочерних продуктов распада (ДПР) в воздухе помещений [11].

Радон-222 образуется в результате радиоактивного распада <sup>226</sup>Ra, содержащегося в горных породах. Выделяющийся в земных недрах <sup>222</sup>Rn постоянно поступает в атмосферу через трещины и неплотный грунт. Он может распространяться на большие расстояния от мест своего образования и накапливаться в воздухе зданий (преимущественно в подвальных помещениях и на первых этажах зданий, поскольку радон тяжелее воздуха). Другими источниками поступления радона в помещения могут быть вода и природный газ.

Распадаясь, радон испускает α-частицы, которые вызывают облучение поверхности кожи и легочной ткани. Кроме того, распад радона сопровождается образованием радиоизотопов свинца, висмута и полония. ДПР радона могут очень долго находиться во взве-

шенном состоянии в воздухе, вместе с ним попадать в легкие и вызывать внутреннее облучение [2]. Признано, что воздействие радона является второй по значимости (после курения) причиной рака легких [11].

Нормами радиационной безопасности (НРБУ-97) определено, что среднегодовая эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) <sup>222</sup>Rn в воздухе зоны дыхания в помещениях зданий и сооружений, которые эксплуатируются с постоянным пребыванием людей, не должна превышать 100 Бк·м<sup>-3</sup>; в помещениях зданий и сооружений, которые строятся и реконструируются для эксплуатации с постоянным пребыванием людей, а также помещений детских, санаторно-курортных и лечебно-оздоровительных учреждений — 50 Бк·м<sup>-3</sup> [5]. При более высоких значениях объемной активности радона должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений.

Гидрогеологические особенности территории, климатические аспекты, режим вентилирования, инженерно-планировочные решения зданий определяют значительную вариабельность активности радона в воздухе зданий Украины. В Днепропетровской, Кировоградской, Житомирской, Черкасской, Запорожской, Херсонской, Тернопольской, Николаевской, Луганской и Одесской областях известны аномалии, в десятки и сотни раз превышающие нормативы для радона в зданиях, строительных материалах и воде [3].

В Донбассе радон постоянно присутствует в воздухе горных выработок угольных шахт [4]. По данным многолетних исследований активность радона в угольных шахтах СССР изменялась в пределах от 10 Бк·м<sup>-3</sup> до 48 кБк·м<sup>-3</sup>. Известны случаи, когда в подвальных помещениях, снабженных вытяжной вентиляцией, концентрация радона за счет подсоса воздуха из почвы достигала 8 000...10 000 Бк·м<sup>-3</sup> [10].

В Луганске и Луганской области максимальные уровни ЭРОА  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе жилых помещений достигали  $2000 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , в воздухе полуподвальных помещений —  $5800 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , а в воздухе подпольного пространства —  $12000 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  [6].

В воздухе жилых помещений работников шахты «Киевская» (г. Ровеньки Луганской области) ЭРОА радона колебалась от  $25 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  до  $306 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  (средняя величина  $94,4 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ) [9].

В помещениях детских дошкольных учреждений (ДДУ) Запорожской области среднеарифметическое значение ЭРОА составило  $159 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , в жилых помещениях —  $70 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ . Максимальное значение ЭРОА —  $695 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , уровень в  $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  превышен в 21,4 % случаев в жилых и 80 % помещениях ДДУ [8].

В сельских зданиях Одесской области среднегеометрическое значение ЭРОА радона составило  $61 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , среднеарифметическое значение  $75 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  при стандартном отклонении  $54 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , в Кировоградской области —  $108 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  и  $117 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , соответственно [2].

Анализ данных радиационного мониторинга территории Донецкой области за период 2008–2010 гг. показал, что в ряде помещений имеет место превышение концентрации  $^{222}\text{Rn}$  свыше  $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  [1].

Несмотря на общепризнанность доминирующей роли радона в формировании коллективной дозы облучения населения, в отечественной литературе мало внимания уделяется выявлению закономерностей поведения радона и его ДПР, новым современным методам измерений и аппаратуре, оценкам радиационных рисков, а также защите от естественных радионуклидов. Недостаточность знаний о радоноопасности у населения порождает, как указывает П.И. Диденко [3], с одной стороны, необоснованную радиофобию по поводу мнимых опасностей, а с другой — игнорирование реально существующих угроз здоровью.

Целью данной работы было изучение радоновой обстановки в помещениях различного назначения г. Донецка.

**Материал и методы исследования.** Проанализированы результаты изучения радоновой обстановки по результатам текущего санитарного надзора в 8 районах города Донецка в разные периоды 2010–2013 гг. на 96 объектах (помещениях различного назначения — 53 производственных, 16 административных, 14 жилых, 13 школьных помещений).

Данная выборка не охватывает всю территорию города и все типы помещений; кроме того, большинство

обследованных объектов расположено в центральных районах города. Тем не менее, анализ полученных результатов позволяет сделать определенные выводы о распределении радона в воздухе городских помещений.

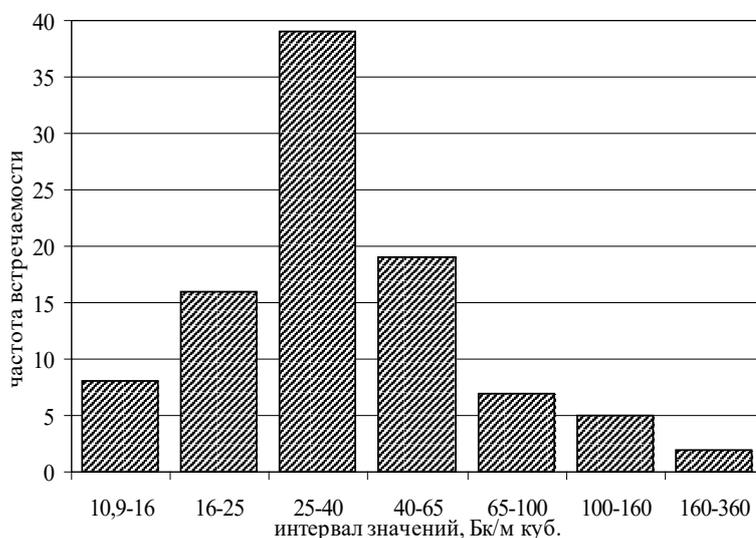
Замеры эквивалентной равновесной объёмной активности  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе помещений были проведены радиометром AlphaGUARD. Измерения проводились на первых этажах эксплуатируемых зданий при закрытых окнах и дверях с временем экспозиции не менее 7 суток.

Проведена группировка результатов и статистический анализ с использованием пакета MedStat, лицензионная копия № MS 000041 [7]. Определены среднегеометрические и среднеарифметические значения, стандартное отклонение и стандартная ошибка среднего (в виде 95 % доверительного интервала), медиана и интерквартильный размах.

**Результаты и обсуждение.** Исследование эквивалентной равновесной объёмной активности  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе помещений г. Донецка показало значительную вариабельность результатов измерений ( $10,9\text{--}358,6 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ) за время исследований. При этом в 7 % исследованных помещений значения ЭРОА были выше допустимой величины.

Частотная характеристика распределения ЭРОА обнаружила логнормальный характер; представленная разбивка на интервалы (7 градаций) проведена пропорционально величинам логарифмов значений ЭРОА (рис. 1). Среднегеометрическое значение ЭРОА по городу составило  $35 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , среднеарифметическое значение —  $46 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$  при стандартном отклонении  $52 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ , медиана (25 %; 75 %) —  $32$  (24; 46)  $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ .

В теплый период года ЭРОА  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе помещений г. Донецка в среднем была



**Рис. 1.** Частотная характеристика значений ЭРОА  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе помещений



**Рис. 2.** Динамика ЭРОА <sup>222</sup>Rn в воздухе помещений г. Донецка в разные периоды года

выше ( $53 \pm 16$  Бк $\times$ м<sup>-3</sup>), чем в холодный период ( $34 \pm 7$  Бк $\times$ м<sup>-3</sup>) (рис. 2).

Среднегодовые значения ЭРОА также характеризуются значительной вариабельностью значений; различия между ними, как и различия в распределении ЭРОА радона-222 по районам г. Донецка, не достоверны (табл. 1).

В зависимости от назначения помещений ЭРОА радона-222 увеличивалась в последовательности: школьные — административные — жилые — производственные помещения (табл. 2). При этом в школьных и административных помещениях как максимальные, так и средние значения ЭРОА не превышали допустимый уровень.

Значения ЭРОА <sup>222</sup>Rn в воздухе помещений г. Донецка ниже, чем величины, приведенные в вышеупомянутых исследованиях в других городах и регионах [2, 6, 8, 9], что может быть следствием геологических особенностей территории Донецка (низкого содержания источников радона — урана, радия и тория — в известняках, песчаниках, сланцах, кварцитах, грунте и грунтовых водах).

Высокое содержание радона в ряде исследованных помещений обусловлено в первую очередь геолого-геофизическими особенно-

стями, что не поддается регулированию. Доза радонового облучения населения зависит и от других причин: времени пребывания в помещении, типа строительного материала, из которого построено здание, наличия подвальных помещений и мест протечек радона между плитами пола и стенами, характера эксплуатации зданий, в частности работы вентиляции, метеорологических условий.

По результатам исследования воздуха в помещениях с высоким уровнем ЭРОА <sup>222</sup>Rn были проведены противорадоновые

мероприятия — активные (вентиляция) и пассивные (изоляция подпольного пространства). После проведения комплекса мероприятий (проветривание помещений, улучшение вентиляции, герметизация полов, стыков и вводов коммуникаций) содержание радона в исследуемых помещениях снизилось до допустимой величины. Однако это не говорит о полной нормализации радоновой обстановки, т.к. в ряде случаев предприятия и учреждения пользуются кондиционерами для охлаждения и теплоснабжения помещений, проветривание практически не применяется, а кондиционирование обеспечивает только порядка 15 % поступления свежего воздуха.

В Донецке находится большое число зданий постройки 1950–1960 гг., в которых не проводились противорадоновые мероприятия и в которых люди постоянно испытывают влияние повышенного содержания радона и его ДПР. Кроме этого, вследствие боевых действий многие жители переселились в подвальные и полуподвальные помещения, где концентрации радона могут быть высокими. В связи с этим необходимо проведение комплекса профилактических мероприятий по

**Таблица 1.** Динамика ЭРОА <sup>222</sup>Rn в воздухе помещений по районам г. Донецка

Район г. Донецка	Количество помещений	ЭРОА, Бк $\times$ м <sup>-3</sup>			Среднее значение М $\pm$ m
		2010	2011	2013	
Ворошиловский	25	51,0	87,6	36,1	60,5 $\pm$ 22,5
Калининский	20	35,9	103,1	27,1	48,3 $\pm$ 29,1
Куйбышевский	7	36,3	75,0	23,1	43,9 $\pm$ 24,5
Ленинский	11	31,1	28,2	96,3	42,8 $\pm$ 20,3
Буденновский	3	38,6	–	43,1	41,6 $\pm$ 6,9
Киевский	20	48,5	23,6	28,3	35,7 $\pm$ 9,7
Петровский	7	35,1	34,2	37,4	35,3 $\pm$ 8,1
Кировский	3	27,3	32,3	–	31,9 $\pm$ 7,6
<b>Всего по городу</b>	<b>96</b>	<b>41,7 <math>\pm</math> 8,1</b>	<b>69,8 <math>\pm</math> 40,4</b>	<b>34,5 <math>\pm</math> 8,8</b>	<b>46,1 <math>\pm</math> 10,5</b>

**Таблица 2.** ЭРОА  $^{222}\text{Rn}$  в воздухе помещений различного назначения г. Донецка

Назначение помещений	ЭРОА, Бк $\times$ м $^{-3}$		
	min	max	M $\pm$ m
Производственные	11,4	358,8	53,7 $\pm$ 18,2
Жилые	14,7	120,6	43,9 $\pm$ 17,3
Административные	10,9	88,1	32,7 $\pm$ 9,6
Школьные	13,5	45,3	28,9 $\pm$ 6,5

предупреждению негативного воздействия радона на население.

**Выводы.** Средние и максимальные значения ЭРОА радона в воздухе исследованных помещений Донецка ниже, чем в зданиях других регионов Украины (Запорожье, Луганске, Кировоградской и Одесской области), что может быть обусловлено геолого-геофизическими особенностями территории города. Активность радона-222 в воздухе увеличивалась в последовательности: школьные — административные — жилые — производственные помещения, при этом в ряде жилых и производственных помещений значения ЭРОА были выше допустимой величины. Превышение допустимого значения ЭРОА обнаружено в 7 % исследованных городских помещений.

Для решения радоновой проблемы необходимо создание системы контроля, анализа, оценки и прогнозирования радиационной обстановки на территории Донецкой Народной Республики, разработка мер по защите населения от естественных радионуклидов в соответствии с результатами радиационно-гигиенического мониторинга и прогнозной радоноопасностью территорий и помещений.

V.S. Kotov, L.V. Marienko, A.V. Sergienko

#### DISTRIBUTION OF RADON-222 IN THE AIR OF DONETSK CITY PREMISES

**Abstract.** The results of studying the radon situation in the premises for various purposes of the Donetsk city in 2010–2013 years were analyzed. Equivalent equilibrium volume activity of radon-222 in the air of premises varied from 11.4 Bq m $^{-3}$  to 358.6 Bq m $^{-3}$ ; in 7 % of the studied premises, activity values were above the allowable values.

*In the warm period of the year, it was higher than in the cold period. The frequency response of the activity was lognormal, median 32 Bq m $^{-3}$ . Radon activity in the air increased in the sequence: school — administrative — residential — industrial premises. It was concluded on the need to develop a set of preventive measures to reduce the negative impact of radon on the population.*

**Keywords:** radon-222, air of premises, Donetsk

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий С.П., Левченко Л.Г., Дубровская Н.Г. Фобии и реальные риски радиации // Матеріали VI науково-практичної конференції. Донбас-2020: Перспективи розвитку очима молодих вчених. Донецьк, 24–26.04.2012 р. Донецьк, 2012. – С. 1080-1084.
2. Герман О.А. Научное обоснование противорадных мероприятий для зданий, расположенных на радоноопасных территориях Украины // Дисс... канд. биол.наук. Киев – 2016. – 160 с.
3. Диденко П.И. Экологические аспекты воздействия радона на население // Зб. наук. праць «Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист», 2014. – 6. – С. 72-81.
4. Кременев, О.Г. Овчаренко В.Л. Измерение радона и его дочерних продуктов распада в горных выработках угольной шахты // Современные проблемы охраны труда и аэрологии горных предприятий [Электронный ресурс]: III науч.-техн. конф. молодых ученых, студентов и аспирантов, 20.11.2015, г. Донецк: Сб. науч. тр. – Донецк, 2015. – С. 26-34.
5. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97). К. 1997.
6. Орешкин М.Н., Махнев И.А., Калайдо А.Я. Мифы и реальность радиационной опасности в Луганской и Донецкой областях // Вестник аграрной науки Дона, 2014. – 4 (28). – С. 74-80.
7. Основы компьютерной биостатистики. Анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом MedStat. Ю.Е. Лях [и др.]. – Донецк: Папакица Е.К., 2006. – 214 с.
8. Павленко Т.А., Костенецкий М.И., Куцак А.В. [и др.]. Уровни облучения дошкольников за счет радона в воздухе помещений // Гигиена и санитария, 2015. – 94 (4). – С. 18-21.
9. Партас О.В. Радоновый фактор в воздухе жилых помещений типичного угледобывающего города Донбасса // Вестник гигиены и эпидемиологии, 1998. – 16. – 2. – С. 217-220.
10. Тимошенко Е.А. Проблема поступления радона в жилые помещения и пути подавления радонового риска в экологически безопасном доме // Сб. научн. трудов Строительство, материаловедение, машиностроение, 2015. – 81. – С. 249-255.
11. ICRP, 2014. Radiological protection against radon exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3).