

УДК 699.887.32

DOI 10.21661/r-469340

*И.П. Михнев, С.В. Михнева*

**ЭКСХАЛЯЦИЯ РАДОНА ИЗ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ И КРИТЕРИИ  
ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ УЧАСТКОВ ПОД ЗАСТРОЙКУ  
НИЖНЕВОЛЖСКОГО РЕГИОНА**

*Аннотация:* в данной статье представлены исследования радиационных радоновых характеристик участков под застройку Волгоградской области. Установлены закономерности распределения радона на объектах строительного комплекса в зависимости от влияния различных факторов. Исследования позволили рассчитать усредненные годовые эффективные эквивалентные дозы облучения населения Волгоградской области, обусловленные радоном и дочерними продуктами распада.

*Ключевые слова:* радон, дочерние продукты распада, эквивалентная равновесная объемная активность, эксхаляция радона, эффективная эквивалентная доза, индуцирование рака, участки под застройку.

*I.P. Mikhnev, S.V. Mikhneva*

**RADON ALLOCATION FROM THE SOIL SURFACE AND CRITERIA  
FOR POTENTIAL HAZARDS OF PLOTS FOR BUILDING THE LOWER  
VOLGA REGION**

*Abstract:* in this article studies of radiation radon characteristics of sites for the construction of the Volgograd region are presented. The regularities of radon distribution at the objects of the construction complex were established, depending on the influence of various factors. The studies made it possible to calculate the average annual effective equivalent doses to the population of the Volgograd Region caused by radon and daughter decay products.

*Keywords:* radon, decay products, equivalent equilibrium volume activity, radon emission, effective equivalent dose, cancer inducing, plots for building.

В настоящее время практически каждый человек хотя бы раз слышал фразы: «радонотерапия» и «радоновые ванны». Однако не многие знают, какую именно пользу или вред, несет этот инертный тяжелый газ, и как часто можно его использовать в лечебных целях. Несмотря на свою известность в качестве лечебного средства, не стоит забывать, что этот газ, прежде всего, радиоактивное вещество. А это значит, что радон ( $^{222}\text{Rn}$ ) далеко не безопасен для человеческого организма. Под воздействием  $^{222}\text{Rn}$ , на кожных покровах и в органах возникает эффект ионизации, который инициирует внутренние процессы и приводит в действие регенерационные механизмы человеческого тела. Как и любое лекарственное средство,  $^{222}\text{Rn}$  имеет целый ряд противопоказаний. Лечение  $^{222}\text{Rn}$  строго противопоказано людям со злокачественными образованиями, беременным, а также при гипотиреозе, гипоэстрогении, выраженной лейкопении и некоторых видах бесплодия. Запрещается использовать  $^{222}\text{Rn}$  тем людям, чья профессиональная деятельность заставляет часто находиться в зоне воздействия разнообразных излучений. Не допускаются к аналогичному лечению люди, у которых наблюдаются кожные заболевания, тяжело протекающие неврозы и при нарушениях работы щитовидной железы [1; 2].

Современные исследования выявили, что именно этот, инертный радиоактивный газ  $^{222}\text{Rn}$ , более века служащий здоровью населения, – одна из основных причин развития рака легких. Воздействие на живой организм ионизирующего излучения может проявляться в отдаленные сроки (появление генетических эффектов через 10 – 30 лет). Причиной заболевания становятся дочерние продукты распада (ДПР), оседающие в организме человека после распада газа  $^{222}\text{Rn}$  и интенсивно облучающие его изнутри. Часто люди страдают от аналогичного излучения, даже не замечая его. Ведь этот тяжелый инертный газ находится в стройматериалах и выделяется из недр земли в том месте, где построено здание [2; 4]. К началу 40-х годов прошлого века почти никто не сомневался в том, что главная причина рака легких у шахтеров – это альфа-излучение  $^{222}\text{Rn}$ . По оценкам Научного комитета по действию атомной радиации Организации объединенных наций (НК ДАР ООН), не существует порога индуцирования молекулярного

изменения на особых участках ДНК, затронутых взаимодействием альфа и гамма-излучения, которое приводит к злокачественному образованию и в итоге к развитию рака. Из всех последствий облучения человека, даже малыми дозами, наиболее серьезным заболеванием является – рак. Любая сколь угодно малая доза увеличивает вероятность заболевания раком для человека, получившего эту дозу, и всякая дополнительная доза облучения ещё более увеличивает эту вероятность. Известно, что появление злокачественных опухолей возрастает прямо пропорционально дозе облучения. Обширные обследования НК ДАР ООН, охватившие около ста тысяч человек, показали, что самыми распространёнными видами рака, вызванными действием альфа и гамма-излучения, оказались рак лёгких, рак молочной и щитовидной железы [3; 4].

Попавшие с вдыхаемым воздухом аэрозоли практически полностью сорбируются легкими человека. Наиболее часто встречающиеся радиационные эффекты от воздействия радоновых аэрозолей рак легких, болезни кроветворной системы и неблагоприятные генетические последствия. Радиометрия радона включает в себя определение объемной активности радона и торона как альфа-активных инертных газов и определение эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) их дочерних продуктов распада, которые находятся в воздухе в виде свободных атомов (ионов) или в виде аэрозолей, являющихся источниками альфа-, бета- и фотонного излучения. Земная кора содержит альфа-бета-активные уран ( $^{238}\text{U}$ ) и торий ( $^{232}\text{Th}$ ), которые являются родоначальниками радиоактивных семейств радионуклидов рядов урана и ряда тория. Продуктом распада  $^{238}\text{U}$  является альфа-активный  $^{226}\text{Ra}$  с периодом полураспада 1602 года, из которого в результате распада образуется инертный газ радон ( $^{222}\text{Rn}$ ). Радон распадается с периодом 3,82 суток, испуская альфа-частицу с энергией 5,49 МэВ и образуя ряд дочерних продуктов распада (ДПР), основными из которых являются RaA ( $^{218}\text{Po}$ ), RaB ( $^{214}\text{Pb}$ ) и RaC ( $^{214}\text{Bi}$ ). ДПР отличаются от радона химической природой, массой, меньшим периодом полураспада и наличием электрического заряда. Если радон является инертным газом, то ДПР имеют

положительный заряд и могут притягиваться и прилипать к пылинкам в воздухе, образуя радиоактивные аэрозоли [1; 3].

Эманации и продукты их распада поступают в атмосферу из почвы, горных пород, вод подземных источников и распространяются в атмосфере с воздушными течениями и путем диффузии. С высотой концентрация эманации уменьшается из-за распада. Причем, концентрация радона намного выше (в 10–20 раз), чем концентрация торона и актиона, поэтому радиационную опасность в большинстве случаев представляет именно радон и продукты его распада, наиболее опасными из которых являются альфа-частицы с энергией от 5 до 6 МэВ. В связи с этим в дальнейшем в основном рассматриваются именно вопросы измерения радона и ДПР и лишь в некоторых случаях торона.

Содержание радона в воздухе нормируется по величине среднегодовой ЭРОА, которая не должна превышать для эксплуатируемых помещений 200 Бк/м<sup>3</sup>, а для проектируемых – 100 Бк/м<sup>3</sup>. Другой нормируемой величиной, которая является критерием радоновой опасности территорий, является плотность потока радона с поверхности грунта, которая представляет собой активность радона, проходящего через единицу поверхности в единицу времени и имеет единицу измерения Бк/(м<sup>2</sup>·с). Для строительства зданий производственного назначения плотность потока радона не должна превышать 250 мБк/(м<sup>2</sup>·с), а для жилых домов и зданий социально-бытового назначения не более 80 мБк/(м<sup>2</sup>·с). При превышении плотность потока радона должна быть предусмотрена система защиты от радона (монолитная бетонная подушка, улучшенная изоляция перекрытий подвала и т. п.).

Основным источником поступления радона в помещения, является почва под зданием. Следовательно, необходимо обязательно проводить измерения плотности потока радона на участках, предназначенных под строительство. Волгоградская область расположена на юго-востоке Русской равнины. Рельеф рассматриваемой области является равнинный, но довольно разнообразный. На территории Волгоградской области распределение почв имеет ряд особенностей. В направлении с северо-запада на юго-восток области для почвенного покрова

характерна смена типов и подтипов почв (от обычновенных черноземов до светло-каштановых). Исследования показывают, что для северных районов Нижневолжского региона, плотности потоков радона из поверхностей почв на порядок меньше, чем для южных. Это можно объяснить тем, что эксхаляция радона из поверхностей почв увеличивается с возрастанием температуры окружающего воздуха [3].

Максимальные вариации значений эксхаляции радона наблюдаются для города Волгограда. В таблице 1 представлены исследуемые показатели эксхаляции радона из поверхностей почв районов Волгограда.

Таблица 1

## Эксхаляции радона из поверхностей почв всех районов г. Волгограда

№ п/п	Исследуемый район г. Волгограда	Показатели эксхаляции, мБк/(м <sup>2</sup> ·с)	
		средние	вариации
1.	Центральный	31,95	12,35–98,76
2.	Тракторозаводский	42,15	23,15–87,43
3.	Советский	36,72	14,72–88,21
4.	Краснооктябрьский	43,18	18,93–108,17
5.	Красноармейский	39,27	20,96–76,35
6.	Кировский	38,65	18,43–78,12
7.	Дзержинский	48,93	20,18–93,46
8.	Ворошиловский	41,54	17,47–83,24

Из таблицы 1 следует, что для Волгограда характерен достаточно широкий разброс значений эксхаляции радона из поверхностей почв, что объясняется различными почвообразующими (подстилающими) породами и неоднородностью почвы города, которая имеет различные показатели естественных радионуклидов. В соответствии с результатами проведенных исследований, значимыми показателями эксхаляции среди подстилающих пород Нижневолжского региона, обладают суглинки и обычновенные глины, менее значимыми – пески и известняки. Выполненные исследования позволили нам разработать «Нормы допустимых уровней гамма-излучения, радона на участках застройки и отбора проб» для Волгоградской области. Эти нормы регламентируют радиоопасность территорий, отведенных под застройку и регулируют порядок работ, а также

предусматривают следующие виды инженерных радиационно-экологических работ для стройиндустрии: предпроектные, проектные, контрольные и приемочные. По совокупности критериев возможно оценить категорию потенциальной радоновой опасности участка (см. табл. 2).

Таблица 2  
Критерии радоновой опасности участков под застройку

Категория радоновой опасности	Показатели грунтов участка в геологическом разрезе	ЭРОА радона в воздухе грунта на глубине 1м, Бк/м <sup>3</sup>
I	Породы с минимальным содержанием <sup>226</sup> Ra. Незначительная газопроницаемость грунта.	< 10 000
II	Породы с минимальным или нормальным содержанием <sup>226</sup> Ra. Средняя газопроницаемость грунта.	от 10 000 до 50 000
III	Породы с максимальным содержанием <sup>226</sup> Ra. Очень значительная газопроницаемость грунта.	> 50 000

Также чтобы определить категории потенциальной радоновой опасности, можно использовать данные о концентрации радона в помещениях, которые эксплуатируются вблизи исследуемых участков. Если значения ЭРОА радона в воздухе помещений превышает 100 Бк/м<sup>3</sup>, то такой участок относится к потенциально радоноопасной категории. Поэтому по противорадоновой защите здания классифицируют на классы. Здания, в которых противорадоновая защита обеспечивается за счет воздухообмена в помещениях, относят к I классу. Эффективность противорадоновой защиты обеспечивается от 25 до 75% в зданиях II класса и защита более 75% в зданиях III класса. Категорию радоновой опасности участков застройки региона можно определить в следующих диапазонах (см. табл. 3).

Таблица 3  
Категории радоновой опасности участков под строительство и требования к противорадоновой защите зданий Нижневолжского региона

Категория радоновой опасности	Плотность потока активности радона (средняя по площади), (Бк/м <sup>2</sup> ·ч)/(мБк/м <sup>2</sup> ·с)	Проектные требования к зданиям
I	< 100 / < 28	Применение конструкций здания без противорадоновой защиты

II	от 100 до 300 / от 28 до 84	Необходимо применять умеренную противорадоновую защиту здания
III	> 300 / > 84	Необходимо применять усиленную противорадоновую защиту здания

Проведенные исследования показывают, что ориентировочно для 50% населенных пунктов Нижневолжского региона, отведенные участки под строительство, относятся ко II категории радоновой опасности. Поэтому, застройку на этих территориях необходимо производить с обязательным применением умеренных противорадоновых защитных средств зданий. Усиленную противорадоновую защиту необходимо применять только на некоторых участках региона [3].

В помещениях на концентрацию радона влияет ряд факторов: время года, назначение помещений и др. В зависимости от этих факторов активность  $^{222}\text{Rn}$  может претерпевать существенные изменения, что приводит к различным уровням облучения населения. В таблице 4 отражены эксхаляции  $^{222}\text{Rn}$  из основных стройматериалов, которые применяются в гражданских зданиях и сооружениях в Волгоградской области.

Таблица 4  
Значения поступления  $^{222}\text{Rn}$  из стройматериалов в помещениях Волгоградской области

Используемый стройматериал	Количество измерений	Эксхаляция радона, мБк/(м <sup>2</sup> ·с)	
		средняя	вариации
Строительная глина	37	24,85	10,41–36,58
Железобетонные блоки	54	8,57	5,32–12,54
Панели облицовочные	115	7,41	3,56–10,54
Силикатный кирпич	137	5,73	3,45–8,67
Керамический кирпич	143	2,87	1,54–4,91

Из табл. 4 видно, что основные стройматериалы (за исключением строительной глины) выделяют относительно небольшое количество  $^{222}\text{Rn}$ . Значительная концентрация  $^{222}\text{Rn}$  наблюдается в помещениях первых этажей и подвалах одноэтажных зданиях. Показатели концентраций радона для первых этажей жилищного фонда, построенных из различных стройматериалов, приведены в таблице

5, где также представлены средние эффективные эквивалентные дозы (ЭЭД), обусловленные радоном.

Таблица 5

Показатели эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в первых этажах жилищного фонда Волгоградской области

Используемый стройматериал здания	Количество проб	ЭРОА радона, $\text{Бк}/\text{м}^3$		Средняя ЭЭД, $\text{мкЗв}/\text{год}$
		средняя	вариации	
Строительная глина	25	98,7	53,7–218,6	6032,8
Железобетонные блоки	181	52,6	15,3–112,4	3220,9
Панели облицовочные	580	26,9	9,2–149,5	1634,4
Силикатный кирпич	475	44,8	6,4–157,8	2726,8
Керамический кирпич	297	32,7	3,8–106,7	1988,7
Строительная древесина	123	34,6	11,4–126,8	2128,4

Как видно из табл. 5 для помещений, построенных из однотипных стройматериалов характерен большой диапазон вариаций значений ЭРОА радона. Это связано с тем, что поступление радона в помещения и его удаление существенно отличается для каждого конкретного здания. Исследования показали, что концентрация радона в помещениях существенно снижается, начиная со 2-го этажа, и не изменяется в помещениях верхних этажей. То есть, начиная со второго этажа, в суммарную ОА радона полностью исключается дополнительный вклад почвы под зданием (из-за препятствия бетонных перекрытий). В основном концентрация радона в помещениях Волгоградской области не превышает допустимых значений. Более чем в 85% помещений детских и учебных учреждений ЭРОА радона не превышает  $58 \text{ Бк}/\text{м}^3$  и менее чем для 5% превышает  $120 \text{ Бк}/\text{м}^3$ , что заметно ниже, чем для жилых зданий. Это связано с тем, что все исследуемые детские учреждения располагаются в многоэтажных зданиях и основным источником поступления радона в помещения являются стройматериалы [3, 5].

Таким образом, на концентрацию радона в помещениях существенное значение оказывают следующие факторы: назначение помещения, стройматериалы, территория под застройку и время года. В зависимости от этих факторов в

помещениях наблюдаются значительные изменения ЭРОА радона, что приводит к различным уровням облучения населения. Установлены закономерности распределения радона на объектах строительного комплекса и окружающей среды в зависимости от влияния различных факторов. Рассчитаны усредненные годовые эффективные эквивалентные дозы облучения населения Нижневолжского региона, обусловленные радоном и ДПР. Получены районированные данные плотностей потоков радона из почв исследованных территорий, отведенных под застройку зданий. Разработан нормативный материал для использования в стройиндустрии с целью ограничения облучения населения в регионе, а также методический материал для подготовки специалистов в области радиационных исследований в строительном комплексе. Результаты выполненных исследований внедрены и используются предприятиями стройиндустрии Волгоградской области при разработке строительного сырья на карьерах, в производстве строительных материалов, при отводе участков территорий под застройку и строительстве зданий. Результаты исследований используются при составлении радиационно-гигиенического паспорта Волгоградской области.

### ***Список литературы***

1. Mikhnev I.P. «Research of Activity of Natural Radionuclides in Construction Raw Materials of the Volgograd Region», Solid State Phenomena / I.P. Mikhnev, N.A. Salnikova, M.B. Lempert – Vol. 265 – 2017 – Pp. 27–32.
2. Kamaev V.A. «Natural Radionuclides as a Source of Background Irradiation Affecting People Inside Buildings» / V.A. Kamaev, I.P. Mikhnev, N.A Salnikova // Procedia Engineering (2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016). – Vol. 150. – 2016. – Pp. 1663–1672.
3. Михнев И.П. Фоновое облучение населения и методы защиты от природных радионуклидов в помещении: Дисс. ... канд. техн. наук. – Волгоград – 2000. – 267 с.
4. Камаев В.А. Влияние гамма-фона помещений Волгоградской области на индуцирование рака / В.А. Камаев, И.П. Михнев, Н.А. Сальникова // Известия

Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – №14 (178). – С. 60–63.

5. Сидякин П.А., Сидельникова О.П., Козлов Ю.Д., Михнев И.П., Малый В.Т. Материалы для снижения гамма-фона и концентрации радона в помещениях / П.А Сидякин, О.П. Сидельникова, Ю.Д. Козлов, И.П. Михнев, В.Т. Малый – №8. – М.: Строительные материалы, 1998. – С. 26–27.

### ***References***

1. Mikhnev I.P. «Research of Activity of Natural Radionuclides in Construction Raw Materials of the Volgograd Region», Solid State Phenomena / I.P. Mikhnev, N.A. Salnikova, M.B. Lempert – Vol. 265 – 2017 – Pp. 27–32.
2. Kamaev V.A. «Natural Radionuclides as a Source of Background Irradiation Affecting People Inside Buildings» / V.A. Kamaev, I.P. Mikhnev, N.A Salnikova // Procedia Engineering (2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016). – Vol. 150. – 2016. – Pp. 1663–1672.
3. Mikhnev I.P. Background Exposure of the Population and the Methods of Protection from Natural Radionuclides in the Room, PhD Thesis. tehn. Sciences, – Volgograd, 2000 – 267 p.
4. Kamaev V.A., Mikhnev I.P., Salnikova N.A., Effect of gamma background at the premises of the Volgograd area of cancer induction / V.A. Kamaev, I.P. Mikhnev, N.A. Salnikova // News of Volgograd State Technical University – 2015. – №.14 (178). Pp. 60–63.
5. Sidyakin P.A., Sidelnikova O.P., Kozlov Yu.D., Mikhnev I.P., Malyth V.T., Materials for reducing the gamma-ray background and the concentration of radon indoors / P.A. Sidyakin, O.P. Sidelnikova, Yu.D. Kozlov, I.P. Mikhnev, V.T. Malyth – №8. –М.: Construction Materials, 1998. – №8. – Pp. 26– 27.

---

**Михнев Илья Павлович** – канд. техн. наук, доцент, заслуженный работник науки и образования Волгоградский институт управления (филиал) ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ», Россия, Волгоград.

**Mikhnev Ilya Pavlovich** – candidate of engineering sciences, associate professor, honored worker of science and education at the Volgograd Institute of Management, Branch of RANEPA, Russia, Volgograd.

**Михнева Светлана Владимировна** – канд. юрид. наук, доцент Российской академия наук (РАН), доцент Волгоградский институт управления (филиал) ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ», Россия, Волгоград.

**Mikhneva Svetlana Vladimirovna** – candidate of juridical sciences, associate professor at the Russian Academy of Sciences, associate professor at the Volgograd Institute of Management, Branch of RANEPA, Russia, Volgograd.

---