

Проблемы оценки потенциальной радоноопасности участков застройки

Н.К. Рыжакова, К.О. Ставицкая, А.А. Удалов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Наличие повышенных концентраций радона в помещениях приводит к риску возникновения рака легкого. В связи с этим при производстве проектно-строительных работ проводят оценку потенциальной радоноопасности участков застройки. К настоящему времени не выработан единый подход к методологии проведения оценок. За рубежом в качестве критериев радоноопасности используют категориально-численные величины – радоновый потенциал или радоновый индекс, которые в разных странах определяются с помощью различных параметров (концентрации урана/радия, объемной активности радона в почвенном воздухе и помещениях, газопроницаемости грунтов, особенностей геологического строения подстилающих пород, мощности дозы гамма-излучения). Исследования, проведенные за рубежом, показывают, что используемые параметры, как правило, не коррелируют с количеством радона, поступающим в здания в процессе его эксплуатации. В Российской Федерации для оценок потенциальной радоноопасности участка застройки используют плотность потока радона, измеренную на земной поверхности. Применяемые в настоящее время методы проведения оценок потенциальной радоноопасности имеют общий недостаток – низкую достоверность результатов. Низкая достоверность оценок, полученных с помощью измерения плотности потока радона, обусловлена вариабельностью значений этой величины и проведением измерений на поверхности земли. В работе обсуждаются результаты измерения плотности потока радона, полученные методами накопительных камер и угольных адсорберов в летние периоды 2014, 2016 и 2017 гг. Установлено, что наиболее сильное влияние на значения и вариабельность плотности потока радона оказывают осадки. В работе приведены результаты измерений плотности потока радона на земной поверхности, а также на поверхности плотных суглинков, залегающих на глубинах 0,5 м и 1,5 м. Показано, что измеренная на земной поверхности плотность потока радона в 2–3 раза меньше значений этой величины, измеренных на поверхности плотных пород. Следует отметить, что самая низкая вариабельность результатов (20%) наблюдалась в 2014 г., когда измерения проводили на поверхности плотных суглинков в период сухой устойчивой погоды.

Ключевые слова: радон, плотность потока радона, почвогрунты, методы измерения, накопительная камера, угольные адсорберы, погодные условия, физические свойства грунтов, удельная активность радия.

Введение

Установлено, что для населения в целом наиболее значимым источником радиоактивного излучения является радон и его дочерние продукты распада, создающие в среднем более половины дозы от всех природных источников [1]. Самые большие концентрации радона наблюдаются в подвальных помещениях и на нижних этажах. Установлено, что вторым (после курения) по значимости фактором риска заболеть раком легких, трахеи и бронхов являются повышенные концентрации радона в помещениях [2–4]. В связи с этим в настоящее время при производстве инженерных изысканий проводятся радиационно-экологические исследования, в том числе оценка радоноопасности участков застройки. Результат таких исследований позволяет решить вопрос о целесо-

образности осуществления противорадоновой защиты при сооружении фундаментов зданий.

В настоящее время не выработан единый подход к методологии проведения оценок радоноопасности участков застройки [5]. За рубежом в качестве критериев радоноопасности используют категориально-численные величины – радоновый потенциал или радоновый индекс, которые в разных странах определяются с помощью различных величин (концентрации урана/радия, объемной активности радона в почвенном воздухе и помещениях, газопроницаемости грунтов, особенностей геологического строения подстилающих пород, мощности дозы гамма-излучения) [6–11]. Исследования, проведенные за рубежом, показывают, что используемые параметры, как правило, не коррелируют с количеством радона, по-

Ставицкая Ксения Олеговна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Адрес для переписки: 634050, Томская обл., г. Томск, проспект Ленина, 30; E-mail: shilovaxeniya@gmail.com

ступающим в здания из пород, залегающих в основании фундамента [8].

Объективным показателем потенциальной радоноопасности участков застройки может служить плотность потока радона (ППР) с поверхности грунтов. Именно эта величина используется в Российской Федерации для оценок радоноопасности участков застройки. Однако такой подход к оценкам радоноопасности участков застройки подвергается критике из-за значительной вариабельности результатов измерений [12]. Основными причинами изменчивости значений плотности потока радона являются погодные условия и пространственная неоднородность грунтов [8]. Следует отметить, что пространственная неоднородность грунтов действительно приводит к существенной вариабельности результатов измерений, но только при региональных исследованиях. На участках застройки, характеризующихся небольшой площадью и расположенных, как правило, на осадочных породах, грунты достаточно однородны. Поэтому при измерениях плотности потока радона на небольших участках основной причиной вариабельности результатов являются погодные условия. В отечественной периодике опубликован ряд работ, в которых рассмотрено влияние метеословий на результаты измерения ППР [13]. Однако выводы, сделанные разными авторами, зачастую противоречат друг другу. Кроме того, отсутствуют данные о влиянии количества осадков на выход радона из почвогрунтов.

По мнению авторов данной работы, используемый в Российской Федерации способ оценки радоноопасности имеет еще один существенный недостаток – измерения проводят на земной поверхности, в то время как фундамент зданий, откуда радон поступает в помещения, располагается обычно на глубинах 1–3 м, где залегают плотные породы. Очевидно, физические свойства плотных пород (в том числе содержание урана/радия) и верхних рыхлых почвенных слоев существенно различаются. Каких-либо исследований о влиянии глубин измерения на значения плотности потока радона не проводилось. Не изучалось также влияние методов измерения ППР, широко используемых в Российской Федерации при радиационно-экологических исследованиях.

Планирование эксперимента и методы исследования

Плотность потока радона измеряли в весенне-летние периоды 2014 г., 2016 г. и 2017 г. на трех площадках г. Томска. Измерения проводили двумя методами – методом накопительной камеры (НК) и методом угольных адсорберов (УА). При реализации метода НК использован измерительный комплекс «Альфарад плюс» (приборостроительная компания ООО «НТМ Защита», г. Москва), для метода УА – измерительный комплекс «Камера-01» (ЗАО Научно-технический центр «Нитон», г. Москва); погрешность измерений не превышала $\pm 30\%$. Измерения проведены в соответствии с аттестованными для этих комплексов методиками. Одна площадка (далее площадка № 1) размерами 20×30 м находилась на дне котлована глубиной 1,5 м, предназначенного для строительства жилого дома. Две другие площадки размерами 1×1 м расположены недалеко друг от друга на террасе р. Томи на большом расстоянии от первой площадки

(8 км). Небольшие размеры этих площадок позволяют исключить влияние неоднородности грунтов на вариабельность результатов измерения. Одна площадка (площадка № 2) расположена на глубине 0,5 м, другая (площадка № 3) – на земной поверхности на расстоянии 6 м от площадки № 2. Такое планирование эксперимента позволяет сравнить количество радона, выходящего на земную поверхность из рыхлых почвенных слоев, с количеством радона, поступающего из плотных пород.

Измерения на первой площадке проводили в 2014 г. методом накопительной камеры с помощью измерительного комплекса «Альфарад плюс». На участке были выбраны контрольные точки, расположенные на расстоянии 10 м друг от друга; в каждой контрольной точке проведено по 3 измерения плотности потока радона.

Измерения на второй площадке проводили в 2016 г. методом НК с помощью комплекса «Альфарад плюс» и методом УА с использованием измерительного комплекса «Камера-01». В 2017 г. измерения провели только с помощью комплекса «Альфарад плюс». При проведении измерений регистрировали параметры атмосферы – температуру, давление, влажность и количество осадков. За весь период проведения исследований получено 250 результатов измерений плотности потока радона разными методами: НК(2014) = 36; НК(2016) = 95; УА(2016) = 60; НК(2017) = 59.

Известно, что количество радона, выделяющегося из почвогрунтов, определяется, в основном, их физическими свойствами. Поэтому на экспериментальных участках с помощью ручного бура отобраны пробы для определения плотности сухого грунта, пористости и содержания ^{226}Ra , из которого в результате радиоактивного распада образуется ^{222}Rn . Точки отбора на первой площадке расположены вблизи контрольных точек. На террасе р. Томи точка пробоотбора грунтов располагалась посередине между площадками № 2 и № 3. Для изучения зависимости плотности, пористости и влажности грунтов от глубины в этой точке отобраны 14 проб грунта на глубинах 0,1–1,5 м с шагом 0,1 м. Кроме того, здесь же отобраны пробы грунта для измерения удельной активности ^{226}Ra на глубинах 0,8 м и 1,2 м.

Для определения плотности, пористости и влажности грунта использован метод «режущего кольца». Удельную активность ^{226}Ra измеряли в геометрии сосуда Маринелли с объемом 1 л с помощью g-спектрометра на основе полупроводникового германиевого детектора GEM-76 с разрешением 1,85 кэВ для энергии 1,33 МэВ и 0,85 кэВ для энергии 122 кэВ. Измерения проводили в условиях радиоактивного равновесия с радоном по наиболее интенсивным линиям дочерних продуктов распада радона – ^{214}Pb (295,21; 351,92 кэВ) и ^{214}Bi (609,32 кэВ). Перед измерениями грунты тщательно высушивали и измельчали. Время выдержки герметично закрытых сосудов составляло 2–3 недели, время измерения одного образца – 2–3 ч; статистическая погрешность измерений не превышала 15%. Для обработки аппаратурных гамма-спектров использована программа «Genia-2000», разработанная компанией CANBERRA.

Для анализа полученных результатов проведена проверка о нормальном распределении значений

плотности потока радона, вычислены средние, стандартные отклонения и коэффициенты вариации; для изучения влияния метеоусловий на значения ППР использован регрессионный анализ.

Физические свойства грунтов

Измерения пористости, плотности сухого грунта и удельной активности ^{226}Ra в пробах, отобранных на площадке № 1, показали, что грунт на поверхности этой площадки однороден по своим физическим свойствам (самый большой коэффициент вариации, равный 9%, получен для удельной активности ^{226}Ra).

Результаты измерения физических свойств грунтов на террасе р. Томи (площадки № 2 и № 3) в зависимости от глубины показали, что большие изменения (на десятки процентов) пористости, плотности и влажности грунтов наблюдаются до глубин примерно 0,5–0,6 м, что соответствует типичной толщине почвенного слоя; на больших глубинах (до 1,5 м), где залегают плотные суглинки, физические свойства грунтов практически не изменяются.

Влияние методов и глубин измерения на значения плотности потока радона

Корректное сравнение результатов любого эксперимента, характеризующегося разбросом измеряемых величин, возможно при использовании известных характеристик случайных величин – распределения случайной величины, среднего значения, стандартного отклонения, коэффициента вариации. Известно, что большое количество статистических методов анализа исходит из предположения нормальности распределения изучаемых данных. Поэтому в исследовании с помощью критерия Пирсона проведена проверка гипотезы о нормальном распределении, которая показала, что распределения измеренных значений плотности потока радона подчиняются нормальному/логнормальному закону. Следовательно, для расчета основных характеристик полученных выборок можно воспользоваться известными формулами для оценки средних, стандартного отклонения и коэффициента вариации [14].

Нормальное распределение значений ППР выполняется для результатов, полученных методом УА в 2016 г. и методом НК в 2017 г.; а логнормальное – методом НК в 2014 и 2016 гг. Известно, что нормальное/логнормальное распределение имеет место для случаев, когда результаты измерений зависят от множества случайных факторов. При формировании нормального распределения непрерывной случайной величины сила воздействия каждого отдельного фактора мала и не может превалировать среди остальных, а характер воздействия – аддитивный. Для логнормального распределения последовательный характер воздействия факторов таков, что случайный прирост, вызываемый действием каждого следующего фактора, пропорционален уже достигнутому к этому мо-

менту значению исследуемой величины. Таким образом, воздействие данного фактора имеет мультипликативный характер.

В нашем случае в качестве факторов, приводящих к мультипликативному характеру воздействия, можно рассматривать температуру атмосферного воздуха и трещиноватость поверхностных слоев почвы. С ростом температуры возрастают конвективные потоки газов, в том числе и радона, из приповерхностных слоев грунта. При высоких температурах и отсутствии осадков (или малом их количестве) в приповерхностном слое образуется большое количество микро- и макротрещин, которые также способствуют выходу радона из этих слоев. Такие условия соответствовали 2014 (Т, °С=21°С) и 2016 (Т, °С=19°С) годам измерений, когда для накопительных камер наблюдается логнормальный закон распределения. Нормальный закон распределения выполняется для результатов измерения ППР методом НК в 2017 г., когда средняя температура была меньше (Т, °С =15°С) и регулярно выпадали дожди, что не способствовало появлению большого количества микро- и макротрещин.

Разный характер распределения значений ППР, измеренных в 2016 г. (для метода НК – логнормальное, для УА – нормальное), можно объяснить следующим образом. Площадь земной поверхности, с которой накапливается радон, при проведении измерений для метода НК (132,8 см²) больше в 4 раза, чем для метода УА (33,2 см²). Следовательно, мультипликативное воздействие микро- и макротрещин на результаты измерения ППР для метода УА будет гораздо слабее либо вообще будет отсутствовать.

В таблице 1 приведены диапазоны значений, средние, стандартные отклонения и коэффициенты вариации результатов измерений плотности потока радона.

Анализ влияния методов измерения проведен на основе результатов, полученных в 2016 г. Из данных таблицы 2 видно, что средние значения, полученные двумя методами, практически совпадают. Однако диапазон значений и, соответственно, коэффициент вариации для метода накопительной камеры заметно больше, чем для метода угольных адсорберов. Измерения двумя методами проведены одновременно, при одинаковых погодных условиях. Поэтому основной причиной разницы коэффициентов вариации (~30%) является статистический разброс результатов измерений, который уменьшается с увеличением времени экспозиции. В наших исследованиях время экспозиции для угольных адсорберов составляло 1 ч, т.е. более чем на порядок превышало время экспозиции для НК, равное 5 мин. Необходимо отметить, что для метода УА обнаружена сильная положительная корреляция между ППР и температурой атмосферного воздуха (рис. 1). Очевидно, этот эффект необходимо учитывать при проведении оценок, если измерения проводятся с помощью угольных адсорберов.

Таблица 1

Основные результаты измерений плотности потока радона

[Table 1

The main results of radon flux density measurements]

Площадка, год измерения [Sampling site, year of measurement]	Метод измерения [Measurement method]	Количество измерений [Number of measurements]	Диапазон значений, мБк·м ⁻² ·с ⁻¹ [Range of values, mBq·m ⁻² ·s ⁻¹]	Среднее значение ППР, мБк·м ⁻² ·с ⁻¹ [mean values of the radon flux density mBq·m ⁻² ·s ⁻¹]	Стандартное отклонение, мБк·м ⁻² ·с ⁻¹ [SD, mBq·m ⁻² ·s ⁻¹]	Коэффициент вариации, % [Variation coefficient, %]
Площадка № 1 (2014 г.) [Sampling site 1, 2014]	НК [Accumulation chamber]	36	27–53	37	7	20
Площадка № 2 (2016 г.) [Sampling site 2, 2016]	НК [Accumulation chamber]	95	3–96	39	31	80
	УА [Coal absorber]	60	2–82	38	19	51
Площадка № 3 (2017 г.) [Sampling site 3, 2017]	НК [Accumulation chamber]	59	2–41	15	8	49

Таблица 2

Основные результаты наблюдений метеоусловий

[Table 2

The main results of meteorological conditions observations]

Измеряемая величина [Parameter]	Год проведения измерений [Year of measurements]	Диапазон значений [Range]	Среднее [Mean]	Стандартное отклонение [SD]	Коэффициент вариации, % [Variation coefficient, %]
Температура, °С [Temperature, °C]	2014	18–25	21,5	2,5	12
	2016	11–25	19,6	4	20
	2017	3–28	15,3	5,3	34
Влажность, % [Humidity, %]	2014	43–84	63	17	20
	2016	45–95	70	14,7	25
	2017	20–96	57	19	33
Давление, мм рт. ст. [Atmospheric pressure, mm hg.]	2014	740–754	744	5,6	0,71
	2016	737–761	745	5,4	0,72
	2017	738–758	750	5,01	0,60
Суммарное количество осадков, мм [Total precipitation, mm]	2014			0	
	2016			243	
	2017			5,3	

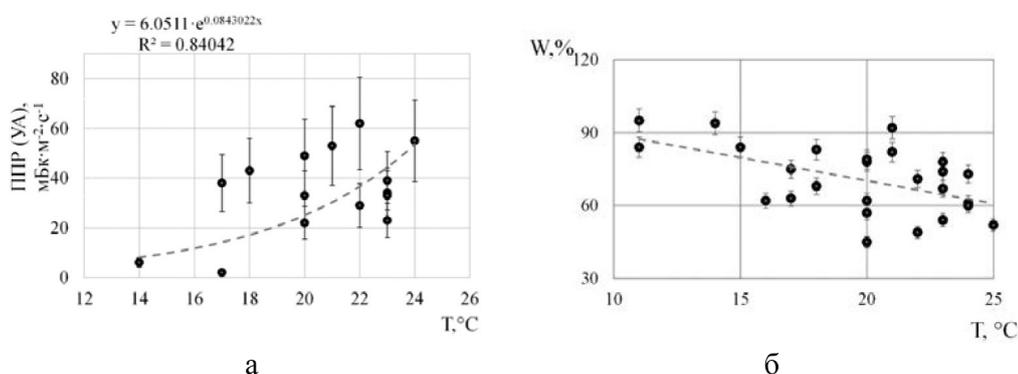


Рис. 1. Зависимость результатов измерений ППР методом угольных адсорбентов (2016) (а) и влажности атмосферного воздуха (б) от температуры

[Fig. 1. Dependence of the results of PPR measurements by the method of carbon adsorbents (2016) (a) and air humidity (b) on temperature]

Средние значения ППР, измеренной на поверхности плотных пород в 2014 г. (глубина измерений 1,5 м) и 2016 г. (глубина измерений 0,5 м), практически совпадают и составляют $38 \text{ мБк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Среднее значение плотности потока радона, полученное в 2017 г. при измерениях на земной поверхности, примерно в 2,5 раза меньше – $15 \text{ мБк}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Полученные результаты еще раз свидетельствуют о том, что количество выделяющегося на поверхность радона в первую очередь зависит от физических свойств почвогрунтов. В нашем случае на глубинах 0,5 м и 1,5 м залегают плотные пространственно-однородные суглинки с практически одинаковыми физическими свойствами – плотностью сухого грунта ($1,38 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$), пористостью (0,45 отн. ед.) и влажностью (11%), которые определены методом режущего кольца на каждой площадке. Удельная активность ^{226}Ra в грунтах на глубинах 0,8 м и 1,2 м примерно одинакова – $27 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ и $28 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ соответственно и почти совпадает со средним значением удельной активности ^{226}Ra в поверхностных слоях грунта на площадке № 1 ($26,4 \text{ Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$). На земной поверхности располагается рыхлый почвенный слой, который, помимо минеральных частиц, в большом количестве содержит органику. Отсюда следует важный вывод – проведение измерений плотности потока радона на земной поверхности (в соответствии с нормативными документами) приводит к недостоверным оценкам радоноопасности участков застройки. Таким образом, для получения достоверных оценок измерения ППР необходимо проводить на поверхности пород, характерных для основания фундамента зданий [15].

Влияние погодных условий на результаты измерения плотности потока радона

Для анализа влияния погодных условий использованы данные о давлении, температуре, влажности атмосферного воздуха, зарегистрированные во время измерений плотности потока радона, а также о количестве осадков, выпавших как накануне проведения измерений, так и за весь период наблюдений. В таблице 2 приведены основные результаты наблюдений параметров атмосферы – диапазоны значений, средние, стандартные отклонения и коэффициенты вариации – температуры (T , °C), давления (P , мм рт. ст.) и влажности атмосферного воздуха (W , %), а также количество осадков, выпавших за весь период наблюдений.

Самые большие диапазоны температуры и влажности атмосферного воздуха зарегистрированы в 2017 г. В течение периода наблюдений в этом году регулярно выпадали слабые осадки. Периоды наблюдений в 2014 и 2016 гг. характеризуются примерно одинаковыми диапазонами температуры и влажности. Однако, в отличие от сухой погоды в 2014 г., в 2016 г. иногда шли сильные дожди.

Как отмечено выше, диапазоны результатов измерений плотности потока радона, как и соответствующие коэффициенты вариации, для 3 площадок заметно отличаются. Измерения на первой площадке проведены в период сухой погоды, когда над Западной Сибирью стоял устойчивый антициклон. При таких погодных условиях и однородности физических свойств грунтов на этой площадке варибельность результатов измерения плотности потока минимальна и составляет всего 20%, что даже меньше погрешности измерений.

Диапазон значений и, соответственно, коэффициенты вариации плотности потока радона, измеренной в 2016 и 2017 гг., значительно больше. Варибельность, обусловленная пространственной неоднородностью грунтов, в этом случае исключается, т.к. измерения на каждой площадке проведены в одной точке. Следовательно, относительно большой разброс, в основном, обусловлен тем, что в период измерений погодные условия были неустойчивыми и характеризовались выпадением осадков (см. табл. 2). Самый большой разброс значений плотности потока радона (для метода НК 80%) как раз наблюдается в 2016 г., когда за период наблюдения выпало наибольшее количество осадков.

Для изучения влияния отдельных параметров атмосферы на выход радона с поверхности почвогрунтов использован регрессионный анализ. Обработка показала, что большое значение коэффициента регрессии (0,84) соответствует экспоненциальной зависимости ППР от температуры для метода угольных адсорберов (см. рис. 1а). Данную закономерность можно объяснить тем, что измерения плотности потока радона проведены с открытым объемом камеры. Количество атмосферной влаги с ростом температуры уменьшается (см. рис. 1б), что, в свою очередь, приводит к усилению процесса сорбции радона на угле. Значимая зависимость результатов измерений плотности потока радона с помощью угольных адсорберов от других параметров атмосферы не обнаружена. Не обнаружены также корреляционные зависимости между ППР и параметрами атмосферы в результатах измерений методом НК.

Как отмечено выше, диапазоны значений давления, температуры и влажности атмосферного воздуха для периодов измерения в 2014 и 2016 гг. примерно одинаковы. Однако разброс значений плотности потока радона, измеренной в 2016 г., оказался значительно больше, чем в 2014 г. Основное отличие погодных условий заключалось в том, что в 2016 г. периодически шли сильные дожди. Известно, что на процессы эманации и переноса радона сильное влияние оказывает влажность грунтов, которая увеличивается после выпадения осадков [16]. На рисунке 2 представлены значения плотности потока радона, полученные в утренние часы тех дней, накануне которых (ночью) выпадали дожди.

Из-за отсутствия необходимой статистики определенные выводы о зависимости плотности потока радона от количества осадков делать преждевременно. Тем не менее, просматривается следующая тенденция – при выпадении небольшого количества осадков плотность потока радона резко уменьшается, а затем с увеличением количества выпавшей влаги наблюдается заметный рост. Можно предположить, что при небольшом количестве осадков происходит закупорка верхних пор грунта, что препятствует выходу радона на поверхность. При значительном количестве осадков влага фильтруется на сравнительно большие глубины. При этом радон, количество которого на этих глубинах гораздо больше, чем в приповерхностных слоях, растворяется в воде (известно, что радон обладает высокой растворимостью в воде). При росте температур в утренние часы происходит интенсивное испарение насыщенной радоном влаги, что в конечном счете приводит к увеличению выхода радона из грунтов. Кроме того, в результате давления воды, запол-

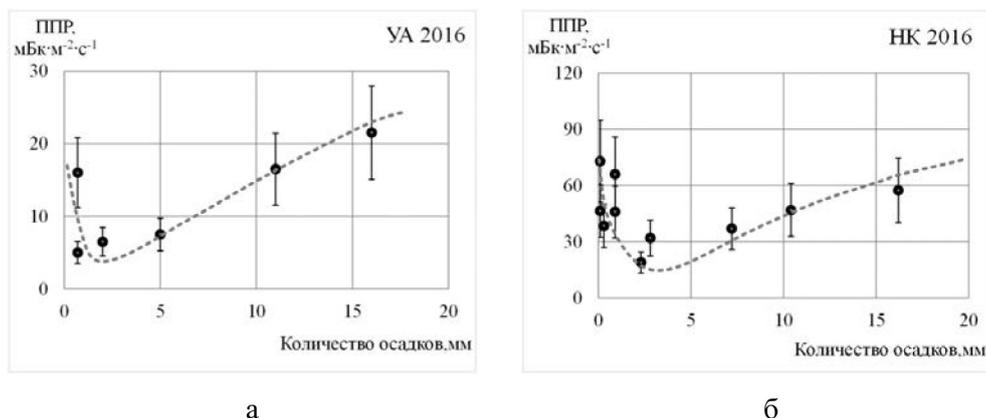


Рис. 2. Зависимость результатов измерений плотности потока радона от количества осадков: а – для угольных адсорберов; б – для накопительной камеры
[Fig. 2. Dependence of radon flux density measurements on rainfall: a) for carbon adsorbers; b) for the accumulation chamber]

няющей поры почвогрунтов, происходит выдавливание почвенного газа в виде пузырьков. Отметим, что результаты измерения ППР, полученные методом УА после выпадения дождей, характеризуются большим разбросом. Возможно, это связано с быстрым ростом температуры в утренние часы после выпадения осадков и достаточно большим периодом экспозиции, в течение которого проявляется зависимость показаний прибора от температуры (см. рис. 1а).

В некоторых работах отмечается, что на результаты измерения плотности потока радона могут влиять не абсолютные значения параметров атмосферы, а их изменение за время наблюдений [13]. Поэтому при обработке результатов измерений в 2017 г. проведён регрессионный анализ значений плотности потока радона в зависимости от изменения параметров атмосферы между 2 последовательными измерениями. Регрессионный анализ показал, что ни знак, ни величина этих изменений не влияют на усредненное по 2 последовательным измерениям значение ППР. С помощью регрессионного анализа также установлено, что изменение параметров атмосферы не оказывает значимого влияния и на вариабельность результатов измерения.

Отсутствие корреляции между значениями ППР и отдельными параметрами атмосферы не означает, что процесс выхода радона из грунтов не зависит от атмосферных условий. Скорее всего, атмосфера оказывает комплексное влияние на процесс выхода радона на поверхность. Например, повышение температуры приводит к возникновению дневных конвективных потоков, способствующих выходу радона с поверхности грунтов. Однако повышение температур в летний период, как правило, сопровождается ростом атмосферного давления, что оказывает противоположное действие.

Выводы

1. При проведении радиационно-экологических изысканий на участках застройки измерения радона необходимо проводить на поверхности плотных пород, характерных для основания фундаментов зданий.

2. Основное влияние на результаты измерений плотности потока радона и их вариабельность оказывают осадки.

Следовательно, для получения достоверных оценок средних значений плотности потока радона измерения рекомендуется проводить в период сухой устойчивой погоды.

3. Для достаточно больших выборок (≥ 30) средние значения плотности потока радона для методов накопительных камер и угольных адсорберов совпадают. В экспедиционных условиях метод накопительной камеры предпочтительнее, так как проще в исполнении и не требует дополнительного оборудования (регенератор активированного угля) и специального программного обеспечения. Кроме того, для метода угольных адсорберов обнаружена положительная корреляционная зависимость результатов измерения от температуры.

Литература

1. Жуковский, М.В. Анализ эффективности мероприятий по снижению доз облучения населения от техногенных и природных источников на примере села Муслимово, река Теча / М.В. Жуковский, И.В. Ярмошенко, Г.П. Малиновский, Е.И. Толстых // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 30–35. – DOI:10.21514/1998-426X-2017-10-1-30-35.
2. Малиновский, Г.П. Радон, курение и вирус папилломы человека как факторы риска рака легкого в эпидемиологическом исследовании экологического типа / Г.П. Малиновский, И.В. Ярмошенко, М.В. Жуковский // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 2. – С. 106–114. – DOI:10.21514/1998-426X-2017-10-2-106-114
3. Nisar Ahmad [et al.] An overview of radon concentration in Malaysia. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 2017, Vol. 10, N 4, pp. 327-330.
4. H.M. Al-Khateeb [et al.] Seasonal variation of indoor radon concentration in a desert climate. Applied Radiation and Isotopes, 2017, Vol. 130, pp. 49-53.
5. Baeza A. [et al.] Influence of architectural style on indoor radon concentration in a radon prone area: A case study. Science of The Total Environment, 2018, Vol. 610-611, pp. 258-266.
6. Росоловский, А.П. Радиологическая оценка некоторых природных источников ионизирующего излучения на территории новгородской области / А.П. Росоловский // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 3. – С. 62–66.
7. Чунихин, Л.А. Карта радоновой опасности территории республики Беларусь / Л.А. Чунихин, А.Л. Чеховский, Д.Н. Дроздов // Радиационная гигиена. – 2016. – Т. 9, № 4. – С. 43–46.
8. Ciotoli G. [et al.] Geographically weighted regression and geostatistical techniques to construct the geogenic radon poten-

tial map of the Lazio region: A methodological proposal for the European Atlas of Natural Radiation. Journal of Environmental Radioactivity, 2017, Vol. 166, N 2, pp. 355-375.

9. Kemski J. [et al.] Mapping the geogenic radon potential in Germany. The Science of the Total Environment, 2001, Vol.272, pp. 217-230.

10. Katalin Zsuzsanna Szabó [et al.] Dynamics of soil gas radon concentration in a highly permeable soil based on a long-term high temporal resolution observation series. Journal of Environmental Radioactivity, 2013, Vol. 124, pp. 74-83.

11. Чеховский, А.Л. Картирование территории Гомельской, Могилёвской и Витебской областей по комплексному радоновому показателю и объёмной активности радона в жилых зданиях / А.Л. Чеховский, Д.Н. Дроздов // Радиация и риск. – 2016. – Т. 25, № 4. – С. 126–136.

12. Neznal M., Neznal M. The new method for Assessing the Radon Risk of Building Sites. Czech Geological Survey Special Papers, 2004, Vol.16, pp. 7-47.

13. Белецкая, Ю.В. Вариации плотности потока радона с поверхности почвы экспериментального полигона / Ю.В. Белецкая, Г.И. Крупный, А.М. Мамаев, Я.Н. Расцветалов // АНРИ. – 2010. – № 1. – С. 34–36.

14. Sakalys J., Kvietkus K., Sucharová J., Suchara I., Valiulis D. Changes in total concentrations and assessed background concentrations of heavy metals in moss in Lithuania and the Czech Republic between 1995 and 2005. J. Chemosphere, 2009, Vol. 76, №1, pp. 91-97.

15. Пат. №2017119384/28 (033598). Способ оценки радоноопасности участков застройки / Н.К. Рыжакова, К.О. Шилова; опубл. 18.12.2017.

16. Рыжакова, Н.К. Методы и результаты определения коэффициентов эманирования глинистых грунтов города / Н.К. Рыжакова, Г.А. Раменская // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2012. – № 2. – С. 168-176.

Поступила: 15.04.2018 г.

Рыжакова Надежда Кирилловна – кандидат физико-математических наук, доцент Инженерной школы ядерных технологий, НИТПУ, Томск, Россия

Ставицкая Ксения Олеговна – аспирант Инженерной школы ядерных технологий, НИТПУ. Адрес для переписки: 634050, Томская обл., Томск, проспект Ленина, 30; E-mail: shilovaxeniya@gmail.com

Удалов Андрей Александрович – магистрант Инженерной школы ядерных технологий, НИТПУ, Томск, Россия

Для цитирования: **Рыжакова Н.К., Ставицкая К.О., Удалов А.А. Проблемы оценки потенциальной радоноопасности участков застройки // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 2. – С. 37-44. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2 -37-44**

Issues in assessment of potential radon hazard at building sites

Nadezhda K. Ryzhakova, Kseniya O. Stavitskaya, Andrey A. Udalov

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

High concentrations of radon in the premises leads to a risk of lung cancer for the population. In this regard, in the production of design and construction works, an assessment is made of the potential hazard of radon in the construction sites. At the present, the unified approach to methodology of assessment is not developed. Abroad, various categorical and numerical values, such as radon potential or radon index, are used as criteria for radon hazard. In different countries, these criteria are determined using various parameters: uranium / radium concentration, radon volumetric activity in soil air and premises, gas permeability of soils, geological structure of underlying rocks, dose rate of gamma radiation. Studies conducted abroad show that the parameters used, as a rule, do not correlate with the amount of radon entering buildings during its operation. In the Russian Federation, the radon flux density measured on the soil surface is used to estimate the potential radon hazard of a building site. Applied today method of potential radon hazard assessment has one general drawback. It is low reliability of results. Such a quality of assessments obtained by measuring the radon flux density is due to the variability in the values of this value and to the measurement of the surface of the soil. The paper discusses the results of measuring the radon flux density obtained by the methods of «accu-

Kseniya O. Stavitskaya

Tomsk Polytechnic University

Address for correspondence: Lenin Avenue, 30, Tomsk Region, Tomsk, 634034, Russia; E-mail: shilovaxeniya@gmail.com

mulation chambers» and «carbon adsorbers» in the summer periods of 2014, 2016 and 2017. It was confirmed that the strongest influence on the values and variability of radon flux density is exerted by precipitation. The paper presents the results of radon flux density measurements on the soil surface, as well as on the surface of dense loams lying at depths of 0.5 m and 1.5 m. It is shown that the radon flux density measured on the soil surface is two to three times smaller than the values of this value measured on the surface of dense rocks. It is important to note that the lowest variability of the results (20%) was observed in 2014, when measurements were made on the surface of dense loams during dry, stable weather.

Key words: radon, radon flux density, soil, measurement method, accumulation chamber, carbon adsorber, weather conditions, soil physical features, radium activity concentration.

References

- Zhukovsky M.V., Yarmoshenko I.V., Malinovsky G.P., Tolstykh E.I. Analysis of the effectiveness of measures on reduction population radiation doses due to technogenic and natural sources on the example of Muslyumovo village, the river Techa. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1):30-35. (In Russian) DOI:10.21514/1998-426X-2017-10-1-30-35
- Malinovsky G.P., Yarmoshenko I.V., Zhukovsky M.V. Radon, smoking and human papilloma virus as risk factors for lung cancer in an environmental epidemiological study. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(2):106-114. (In Russian) DOI:10.21514/1998-426X-2017-10-2-106-114
- Nisar Ahmad [et al.] An overview of radon concentration in Malaysia. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 2017, Vol. 10, N 4, pp. 327-330.
- H.M. Al-Khateeb [et al.] Seasonal variation of indoor radon concentration in a desert climate. *Applied Radiation and Isotopes*, 2017, Vol. 130, pp.49-53.
- Baeza A. [et al.] Influence of architectural style on indoor radon concentration in a radon prone area: A case study. *Science of The Total Environment*, 2018, Vol. 610-611, pp. 258-266.
- Rosolovsky A.P. Radiological assessment of some natural sources of ionizing radiation in the Novgorod region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(3):62-66. (In Russian)
- Chunikhin L.A., Chekhovsky A.L., Drozdov D.N. The Republic of Belarus radon danger map. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2016; 9(4):43-46. (In Russian) DOI:10.21514/1998-426X-2016-9-4-43-46
- Ciotoli G. [et al.] Geographically weighted regression and geostatistical techniques to construct the geogenic radon potential map of the Lazio region: A methodological proposal for the European Atlas of Natural Radiation. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, Vol. 166, N 2, pp. 355-375.
- Kemski J. [et al.] Mapping the geogenic radon potential in Germany. *The Science of the Total Environment*, 2001, Vol. 272, pp. 217-230.
- Katalin Zsuzsanna Szabó [et al.] Dynamics of soil gas radon concentration in a highly permeable soil based on a long-term high temporal resolution observation series. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2013, Vol. 124, pp. 74-83.
- Chekhovsky A.L., Drozdov D.N. Mapping territory of Gomel, Mogilev and Vitebsk regions for complex radon index and radon volume activity in residential buildings. *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*, 2016, vol.25, no.4, pp. 126-136. (In Russian)
- Neznan M., Neznan M., The new method for Assessing the Radon Risk of Building Sites. *Czech Geological Survey Special Papers*, 2004, Vol. 16, pp. 7-47.
- Beletskaya Yu.V., Krupnyy G.I., Mamaev A.M. Variations in the radon flux density from the soil surface of the experimental range. *ANRI = ANRI*, 2010, no.1:34-36. (In Russian)
- Sakalys J., Kvietkus K., Sucharová J., Suchara I., Valiulis D. Changes in total concentrations and assessed background concentrations of heavy metals in moss in Lithuania and the Czech Republic between 1995 and 2005. *J. Chemosphere*, 2009, Vol. 76, № 1, pp. 91-97.
- Ryzhakova N.K. Shilova K.O. 12/18/2017. Method for assessing the radon hazard of building sites. The patent for the invention №2017119384/28 (033598). (In Russian)
- Ryzhakova N.K., Ramenskaya G.A. Methods and results of determining the emanation coefficients for clay soils of Tomsk. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya = Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*, 2012, No.2, pp. 168-176 (In Russian)

Received: April 15, 2018

Nadezhda K. Ryzhakova – PhD, docent of the Engineer school of nuclear technologies, NITPU, Tomsk, Russia

For correspondence: Kseniya O. Stavitskaya – PhD student, Engineer school of nuclear technologies (Lenin Avenue, 30, Tomsk Region, Tomsk, 634034, Russia; E-mail: shilovaxeniya@gmail.com)

Andrey A. Udalov – MsC student, Engineer school of nuclear technologies, NITPU, Tomsk, Russia

For citation: Ryzhakova N.K., Stavitskaya K.O., Udalov A.A. Issues in assessment of potential radon hazard at building sites. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol. 11, No. 2, pp.37-44. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-37-44