DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-2-57-64 УДК: 614.876:546.296:624.13

Новый подход к проблеме оценки радоноопасности участков застройки

Н.К. Рыжакова¹, К.О. Ставицкая¹, А.А. Удалов²

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия ²Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Россия

Более половины дозы от всех природных источников излучения создают радон и его дочерние продукты распада. Поступающий в здания радон выделяется преимушественно из грунтов, залегающих в основании фундамента. Поэтому перед проведением работ определяют радоноопасность территории застройки. В Российской Федерации для оценок потенциальной радоноопасности участка застройки используют плотность потока радона, измеренную на земной поверхности. К настоящему времени среди исследователей, занимающихся измерениями радона, сложилось мнение, что на количество выделяющегося с поверхности грунтов радона влияет геология территории. Однако исследования, посвященные выходу радона с поверхности грунтов разного типа, практически отсутствуют. В работе представлены результаты измерения плотности потока радона на поверхности лессовидных суглинков, белой глины, глинистых сланцев, песчано-гравийных отложений, скального известняка, глинистого известняка, андезито-базальтового порфирита и квариитов. Измерения плотности потока радона проведены методом накопительной камеры с помощью измерительного комплекса Альфарад Плюс. В работе также проведены измерения удельной активности Ra-226 и влажности грунта. В исследовании показано, что в зависимости от вида грунта количество выделяющегося с его поверхности радона отличается более чем на порядок. Самые большие значения плотности потока радона ~ 800 мБк·м⁻²с⁻¹ зарегистрированы для андезито-базальтового порфирита и кварцита, наименьшие значения ~ 40 мБк м⁻²с⁻¹ – для лессовидных суглинков и глинистых сланцев. Для грунтов, состоящих из мелких песчаных и глинистых частиц, обнаружена достаточно сильная зависимость плотности потока радона от влажности. При измерениях грунтов с низкой влажностью (2-6%) пропорциональной зависимости между удельной активностью Ra-226 и количеством радона, выделяющегося на поверхность грунта, не наблюдается. Виды грунтов, слагающих «активный» слой в основании фундаментов зданий, а также их физические свойства можно положить в основу классификации участков застройки по степени радоноопасности. Соответствующая информация может быть предоставлена организациями, осуществляющими проектно-изыскательные работы на участках застройки. Предложенный в работе подход к оценке радоноопасности позволит избежать проведения трудоемких измерений радона и, таким образом, снизить финансовые, материальные и трудовые затраты на строительство.

Ключевые слова: радон, плотность потока радона, радоноопасность, грунт, методы измерения, удельная активность радия.

Введение

Более половины дозы от всех природных источников излучения создают радон и его дочерние продукты распада. Поступающий в здания радон выделяется преимущественно из грунтов, залегающих в основании фундамента. Поэтому перед проведением работ определяют радоноопасность территории застройки. В Российской Федерации в соответствии с нормативными документами оценки радоноопасности участков застройки проводят на основе результатов измерения плотности потока радона (ППР) на земной поверхности. Однако такой способ не позволяет получить достоверные оценки радоноопасности территорий, так как количество радона, выделяющегося из поверхностных слоев, и из грунтов залегающих в основании фундамента зданий, заметно отличается [1]. По мнению многих специалистов, существующий метод проведения оценок не гарантирует необходимый уровень радиационной безопасности (см., например, [2]). Используемые за рубежом методы оценки радоноопасности не имеют единой методологической основы, а достоверность результатов вызывает сомнения [3–16].

К настоящему времени среди исследователей, занимающихся измерениями радона, сложилось мнение, что на количество выделяющегося с поверхности грунтов радона влияют геология территории и погодные условия.

Ставицкая Ксения Олеговна

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

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

К сожалению, систематические исследования, посвященные выходу радона с поверхности грунтов разного типа, практически отсутствуют. В зарубежной литературе приведены, в основном, данные по объемной активности радона в поровом пространстве [16–18]. Однако на выход радона с поверхности грунта влияют факторы, связанные не только с величиной объемной активности в поровом пространстве, в частности, газопроницаемость грунтов. Поэтому в дальнейшем при проведении оценок радоноопасности за рубежом стали измерять еще и газопроницаемость. Отметим, что анализ результатов, полученных нами в Чехии [19], показывает, что измерения газопроницаемости поверхностных слоев не имеют смысла. Из-за влияния погодных условий эта величина сильно варьирует. Кроме того, отметим, что отсутствует стандартизованная методика измерения газопроницаемости поверхностных слоев.

Влияние параметров атмосферы на выход радона с поверхности грунтов изучено в ряде работ (см., например, [1, 13, 20]). Однако по результатам исследований сделаны зачастую противоречивые выводы. В проведенных нами исследованиях показано, что ППР не коррелирует с отдельными параметрами атмосферы – давлением, температурой и влажностью атмосферного воздуха [1]. В ряде работ установлено, что на результаты измерения ППР сильное влияние оказывает количество выпавших осадков [1, 21-26]. После выпадения осадков меняется влажность грунтов, от которой зависят процессы эманирования и переноса радона через почвогрунты [27-29]. Однако влияние влажности грунтов на результаты измерения ППР изучено также недостаточно. В связи с этим отметим, что влажность грунтов, залегающих на глубинах от одного до нескольких метров, практически не зависит от интенсивности осадков, если отсутствуют какие-либо климатические катаклизмы. Природные катаклизмы происходят сравнительно редко, и период их влияния ограничен, тем более в основании фундамента зданий.

Как отмечено выше, основным источником радона являются грунты, расположенные в основании фундамента зданий. Безусловно, количество выделяющегося с поверхности грунта радона зависит от его геолого-геофизических свойств. В связи с этим несомненный интерес представляет изучение взаимосвязей между значениями ППР и типом грунта и его геолого-геофизическими характеристиками.

Цель исследования – измерения ППР на поверхности нескольких типов грунтов – лессовидных суглинков, белой глины, глинистых сланцев, песчано-гравийных отложений, скального известняка, глинистого известняка, андезито-базальтового порфирита и кварцитов, а также изучение влияния на ППР таких важных свойств грунтов, как влажность и удельная активность Ra-226.

Материалы и методы

Измерения ППР проводили в весенне-летний период на трех экспериментальных площадках г. Томска (терраса реки Томь, в районе Лагерного сада) и семи площадках Горного Алтая, характеризующихся разными типами грунтов. Выбор территории измерения в г. Томске обусловлен тем, что геологические обнажения Лагерного сада на правом берегу реки Томь представляют собой опорный геологический разрез, внесенный в международный каталог. На террасе удалось выбрать удобные для измерения площадки с разными типами грунтов: лессовидные суглинки, белые глины и глинистые сланцы. Измерения ППР в Горном Алтае провели в долине реки Маймы, в долине реки Катунь, в Горно-Алтайске и Кызыл-Озек на песчано-гравийных отложениях (ПГС), скальном известняке, глинистом известняке, андезито-базальтовом порфирите и кварцитах.

Мощность исследованных грунтов была не менее толщины «активного» слоя [30]: для плотных пород порядка 1 м, для суглинков и песчано-гравийный смесей – не более 2–3 м (под «активным» слоем понимается слой грунта, в котором формируются потоки радона, достигающие поверхности). Отбор проб поверхностного слоя грунта толщиной 10 см проводили одновременно с измерениями ППР для определения его влажности.

Измерения ППР проводили с помощью измерительного комплекса Альфарад Плюс в соответствии с руководством по эксплуатации данного прибора, разработанным приборостроительной компанией НТМ-защита, г. Москва, 2014 г. Для измерения удельной активности Ra-226 отбирали образцы массой от 0,3 кг до 1,5 кг. Удельную активность Ra-226 в зависимости от массы образца измеряли в геометрии сосуда «Маринелли» с объемом 1 л или геометрии сосуда «Дента» (усеченный конус) с объемом 250 мл с помощью у-спектрометра на базе полупроводникового детектора из сверхчистого германия (CANBERRA GC2018) с разрешением 1,85 кэВ для энергии 1,33 МэВ и 0,85 кэВ для энергии 122 кэВ (калибровка проведена для обеих геометрий по источнику Eu-152 с насыпной плотностью 1 г/см³). Измерения проводили в условиях радиоактивного равновесия по наиболее интенсивным линиям дочерних продуктов распада радона - Pb-214 (295,21; 351,92 кэВ) и Bi-214 (609,32 кэВ). Перед измерением грунты тщательно высушивали при температуре ~100°С и измельчали. Время выдержки герметично закрытых сосудов составляло 2-3 недели, время измерения одного образца – 1 сутки; статистическая погрешность измерений не превышала 15%. Для обработки аппаратурных гамма-спектров использована программа CANBERRA «Genie-2000».

Результаты и обсуждение

Проверка гипотезы о нормальном распределении с помощью критерия Пирсона показала, что распределения измеренных значений ППР подчиняются нормальному закону, что соответствует результатам, полученным другими авторами. Следовательно, для расчета основных характеристик полученных выборок можно воспользоваться известными формулами для оценки средних арифметических (далее по тексту просто «средние»), стандартного отклонения и коэффициента вариации.

При проведении исследований в Томске было получено 64 результата измерений ППР на поверхности 3 типов грунтов: на поверхности лессовидных суглинков – 30; на поверхности глинистых сланцев – 21; на поверхности белой глины – 13. Диапазон значений, средние значения, стандартные отклонения, коэффициент вариации ППР, а также диапазон значений влажности грунта и средние значения удельной активности Ra-226 приведены в таблице 1. Для лессовидных суглинков получено

типичное для этого вида грунтов среднее значение, равное 44 мБк·м⁻²·с⁻¹. Среднее значение ППР для белых глин (59 мБк·м⁻²·с⁻¹) почти в два раза больше, чем для глинистых сланцев (33 мБк·м⁻²·с⁻¹). Сравнительно большая вариабельность значений ППР для белых глин объясняется влиянием осадков, которые регулярно выпадали в течение периода наблюдений. Известно, что глинистые породы являются гигроскопичными, следовательно, после выпадения дождей набухают, в результате уменьшается их газопроницаемость. Выпадением осадков объясняются также достаточно высокие значения влажности пород (см. табл.1).

В лессовидных суглинках удельная активность Ra-226 составляет 30 Бк/кг, в глинистых сланцах и белой глине – примерно в 5–6 раз больше. Однако среднее значение ППР для белых глин больше только в два раза, чем для лессовидных суглинков, а для глинистых сланцев даже меньше. На рисунках 1, 2, 3 представлены зависимости ППР от влажности для исследованных видов грунта – суглинка, глинистого сланца и белой глины.





[Fig.1. Dependence of the radon flux density (RFD) value on the natural moisture content of loesslike loams]



Рис. 2. Зависимость значения ППР от влажности белой глины [Fig.2. Dependence of the RFD value on the natural humidity of white clay]



Рис. 3. Зависимость значения ППР от влажности глинистых сланцев [Fig. 3. Dependence of the RFD value on the natural moisture content of shale]

Таблица 1 ITable1

Основные результаты измерения на площадках г. Томска

	The main measurement results at the sites of Tom	sk]	
LT 2	Пессовильные суспинки	Глинистые спанны	

Тип грунта [Soil type]	Лессовидные суглинки [Loess loam]	Глинистые сланцы [Argillaceous slate]	Белая глина [Porcelain clay]
Количество измерений [Number of measurements]	30	21	13
Диапазон значений ППР, мБк·м ^{-2.} с ⁻¹ [Range of RFD values, mBq·m ^{-2.} s ⁻¹]	20-71	22–59	20-130
Среднее арифметическое значение ППР, мБк·м ⁻² ·с ⁻¹ [RFD arithmetic mean, mBq·m ⁻² ·s ⁻¹]	44	33	59
Стандартное отклонение, мБк·м ⁻² ·с ⁻¹ [Standard deviation, mBq·m ⁻² ·s ⁻¹]	16	10	34
Коэффициент вариации ППР, % [Coefficient of RFD variation, %]	37	31	57
Диапазон значений влажности, % [Range of moisture values, %]	23–33	22–26	13,5–19
Удельная активность Ra-226, Бк/кг [Radium activity concentration, Bq/kg]	30	160	190

Самая большая влажность (23-33%) наблюдалась для суглинка, состоящего из мелких песчаных и глинистых частиц. Значения влажности для глинистых сланцев, в состав которых также входят глинистые частицы, несколько ниже – 22–26%. Обращает на себя внимание небольшой диапазон изменения влажности сланцев, что, скорее всего, объясняется слоистой структурой этого грунта – после выпадения осадков пространство между слоями быстро заполняется водой. У белой глины влажность имела наименьшее значение - 13,5-20%. Таким образом, наибольшей влагоемкостью обладают грунты, имеющие в своем составе мелкие песчаные частицы и сравнительно небольшое количество глинистых частиц. Более низкая влагоемкость сланцев и особенно глин объясняется большой долей в их составе гигроскопичных глинистых частиц. Таким образом, различный характер ППР от влажности объясняется разной способностью грунтов впитывать и сохранять влагу. Рост значений ППР с увеличением влажности суглинка от 23% до 27% можно объяснить увеличением коэффициента эманирования. Например, в работе [28] показано, что коэффициент эманирования глинистых грунтов увеличивается почти в два раза при изменении влажности в диапазоне от 2% до 25%. Дальнейший рост влажности приводит к увеличению доли пор, заполненных водой, поэтому выход радона затрудняется. Уменьшение ППР с ростом влажности глины связано с набуханием глинистых частиц, в результате чего уменьшается объем пор, через которые радон диффундирует к поверхности. Данный эффект приводит к тому, что коэффициент диффузии радона в суглинках с ростом массовой влажности от 19% до 24% уменьшается более чем в 2 раза [29]. Для сланцев какаялибо зависимость ППР от влажности не обнаруживается. Возможно, это связано с небольшим диапазоном изменения влажности этого грунта.

Результаты, полученные в Горном Алтае, характеризуются повышенными значениями ППР. В связи с этим необходимо отметить, что влажность изученных в Горном Алтае пород составляет несколько процентов, т.е. заметно меньше, чем пород, исследованных в Томске. В таблице 2 представлены диапазон, средние значения, стандартные отклонения, коэффициенты вариации ППР, влажность пород и удельная активность Ra-226, полученные на площадках Горного Алтая.

Сравнительно небольшие значения ППР получены для песчано-гравийно-галечных отложений, для которых характерна высокая газопроницаемость. Эти типы пород имеют сложный минералогический и гранулометрический состав, поэтому средние значения ППР для 3 террас заметно отличаются. Наибольшие средние значения характерны для кварцита (метаморфическая горная порода) и порфирита (магматическая горная порода).

Удельная активность Ra-226 для первой и третьей площадки не измерена, так как пробы грунта с этих площадок не удалось измельчить из-за значительной доли содержащихся в них крупных зерен гравия. Отметим, что именно на этих площадках наблюдаются относительно низкие значения ППР. Удельная активность Ra-226 в образцах грунта, отобранных на 2, 4–7 площадках в Горном Алтае, находится в сравнительно небольшом диапазоне –140–180Бк·кг⁻¹. Однако диапазон значений ППР, измеренных на поверхности этих грунтов, значительно шире – 110–810 мБк·м⁻²с⁻¹.

Сравнивая полученные на двух территориях средние значения ППР и удельной активности Ra-226, можно сделать заключение о том, что пропорциональной зависимости между удельной активностью Ra-226 и количеством радона, выделяющегося на поверхность грунта, не наблюдается. Этот вывод для результатов, полученных для

Таблица 2

The main results of measurements at the sites of the Gornyy Altay]							[Table2
Тип грунта [Soil type]	ΠΓC 3 τeppaca [SGS (sand- and-gravel sediment) bench 3]	ПГС 2 терраса [SGS bench 2]	ПГС 1 терраса [SGS bench 1]	Глинистый известняк [Clayed limestone]	Скальный известняк [Rocky limestone]	Андезито- базальтовый порфирит [Andesite-basalt porphyrite]	Кварцит [Quartzrock]
Количество измерений [Number of measurements]	9	12	10	4	10	17	14
Диапазон значений ППР, мБк·м ⁻² C ⁻¹ [Range of RFD values, mBq·m ⁻² ·S ⁻¹]	64–140	114–320	130–200	220–370	310-690	500-1100	540–1300
Среднее арифметическое значение ППР, мБк·м ⁻² с ⁻¹ [RFD arithmetic mean, mBq·m ⁻² ·s ⁻¹]	110	220	170	292	500	760	810
Стандартное отклонение, мБк·м ⁻² с ⁻¹ [Standard deviation, mBq·m ⁻² ·s ⁻¹]	23	55	21	63	122	155	196

Основные результаты измерения на площадках Горного Алтая

Тип грунта [Soil type]	ΠΓC 3 τeppaca [SGS (sand- and-gravel sediment) bench 3]	ПГС 2 терраса [SGS bench 2]	ПГС 1 терраса [SGS bench 1]	Глинистый известняк [Clayed limestone]	Скальный известняк [Rocky limestone]	Андезито- базальтовый порфирит [Andesite-basalt porphyrite]	Кварцит [Quartzrock]
Коэффициент вариации ППР,% [Coefficient of RFD variation,%]	20	24	12	22	24	20	24
Влажность пород w,% [Soil moisture,%]	3	5,5	2	6	6	5	3
Удельная активность Ra-226, Бк/кг [Radium activity concen- tration, Bq/kg]	-	140	-	180	180	170	150

Окончание таблицы 2

грунтов Горного Алтая, подтверждается корреляционным анализом – коэффициент Спирмена для выборки составляет 0,071 (при анализе влияния удельной активности Ra-226 на средние значения ППР использованы небольшие выборки, полученные только для грунтов Горного Алтая, т.к. измерения ППР в данном случае проведены для грунтов с примерно одинаковой влажностью). Отметим, что аналогичный результат получен нами для суглинков [19], но из-за малого объема выборок сделанный вывод можно считать предварительным. Очевидно, для изучения влияния удельной активности Ra-226 на выход радона с поверхности грунтов требуются дополнительные исследования. Основная методическая трудность таких исследований – измерения нужно проводить при одинаковой влажности грунтов.

Заключение

Результаты проведенных комплексных исследований показывают, что в зависимости от вида грунта количество выделяющегося с его поверхности радона отличается более чем на порядок. Самые большие значения ППР (~ 800 мБк·м-2с-1) зарегистрированы для андезитобазальтового порфирита и кварцита, наименьшее значение (~ 40 мБк·м-²с-¹) – для лессовидных суглинков и глинистых сланцев. Вид грунта определяется: 1) характером структурных связей (скальные, дисперсные); 2) происхождением и условиями образования (осадочные, магматические, метоформфические); 3) гранулометрическим (крупно-обломочные, песчаные, глинистые) и вещественным (фосфатные, силикатные, карбонатные, железистые, кремнистные, сульфатные) составом. Следует отметить, что вещественный состав и водновоздушный режим существенным образом зависит от гранулометрического состава грунта. Например, разные фракции грунтов представлены различными минералами: в крупных фракциях преобладает кварц с низким содержанием урана/радия; мелкие фракции состоят из глинистых минералов (каолинит, монтмориллонит и т.д.), которые характеризуются повышенной радиоактивностью. Важным фактором, влияющим на количество радона, эманирующего с поверхности какого-либо грунта, является его влажность. Грунты, содержащие большую долю крупных частиц (например, песчано-гравийные смеси), обладают низкой влагоемкостью. Напротив, для грунтов, состоящих из мелких песчаных и глинистых частиц (супеси, суглинки), характерна высокая водоудерживающая способность. Сильное влияние влажности на выход радона из грунтов обусловлено зависимостью процессов диффузии и эманирования от количества влаги, содержащейся в порах грунта. Для трех видов исследованных мелкодисперсных грунтов, отличающихся долей глинистых частиц (суглинок, глинистый сланец, белая глина), зависимость количества выделяющегося с поверхности грунта радона от влажности имеет разный характер. Для суглинков наблюдается кривая с максимумом. Зависимость ППР от влажности для глинистых сланцев практически отсутствует. Количество радона, выходящего с поверхности глины, быстро убывает с ростом влажности.

Виды грунтов, слагающих активный слой в основании фундаментов зданий, а также их физические свойства можно положить в основу классификации участков застройки по степени радоноопасности. Для этого необходимо провести систематические измерения ППР с поверхности грунтов, типичных для оснований фундаментов зданий, - песчаных с разной крупностью зерен, скальных (песчаники, кварциты, граниты), глинистых (супесей, суглинков) и крупноблочных (гравий, галька, щебень) грунтов с разной степенью увлажнения. На территориях застройки необходимая информация о типе грунта и его свойствах может быть предоставлена организациями, осуществляющими инженерные изыскания. Такой подход к оценке радоноопасности позволит избежать проведения трудоемких измерений радона и, таким образом, снизить финансовые, материальные и трудовые затраты на строительство. В заключение отметим, что основная часть земной суши сложена осадочными породами, среди которых наиболее типичны исследованные в работе грунты. При наличии каких-либо нехарактерных типов грунтов, в том числе потенциально опасных или техногенного происхождения, безусловно, требуется проведение дополнительных измерений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90044.

Литература

- 1. 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:10.21514/1998-426Х-2018-11-2-37-44
- Баннов Ю.А. Лаборатория радиационного контроля ООО «ГЕОКОН». Два года: опыт работы // АНРИ. 2005. №2(41). С. 54-72.
- Gruber V., Bossew P., De Cort M., Tollefsen T. The European map of the geogenic radon potential // J. Radiol. Prot. 2013. Vol. 33, No 1. P. 51-60.
- EPA (US Environmental Protection Agency) 1993 EPA Map of Radon Zones (Report 402-R-93- 071): www.epa.gov/radon/ zonemap.html (Дата обращения: 28.02.2012)
- Guida D., Guida M., Cuomo A., et al. Assessment and Mapping of Radon-prone Areas on a regional scale as application of a Hierarchical Adaptive and Multi-scale Approach for the Environmental Planning. Case Study of Campania Region, Southern Italy // WSEAS Transactions on Systems. 2013. Vol. 12, № 2. P. 105-120.
- İçhedefa M., Saç M.M., Camgöz B., et al. Soil gas radon concentrations measurements in terms of great soil groups // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 126. P. 165-171.
- Szabó K.Z., Jordan G., Horváth Á., Szabó C. Mapping the geogenic radon potential: methodology and spatial analysis for central Hungary // Journal of Environmental Radioactivity. 2014. Vol. 129. P. 107–120.
- Ielsch G. Cushing M.E., Combes P., Cuney M. Mapping of the geogenic radon potential in France to improve radon risk management: methodology and first application to region Bourgogne // Journal of Environmental Radioactivity. 2010. Vol. 101. P. 813-820.
- Mazur D., Janik M., Loskiewicz J., et al. Measurements of radon concentration in soil gas by CR-39 detectors // Radiation Measurements. 1999. Vol. 31. P. 295- 300.
- Winkler R., Ruckerbauer F., Bunzl K. Radon concentration in soil gas: a comparison of the variability resulting from different methods, spatial heterogeneity and seasonal fluctuations // Science of The Total Environment. 2001. Vol. 272. P. 273-282.
- Mohammad AI, AI-Zubaidy NN. Evaluation of radon gas concentration in the air of soil and dwellings of Hawar and Foara villages, using (CR-39) detectors // Radiation Measurements. 2008. Vol. 43. P. S452-S455.
- Jönsson G. Soil radon depth dependence // Radiation Measurements. 2001. Vol. 34. P. 415-418.
- Neznal M., Neznal M., The new method for Assessing the Radon Risk of Building Sites // Czech Geological Survey Special Papers. 2004. Vol. 16. P. 7-47.
- Kemski J., Siehl A., Stegemann R., Valdivia-Manchego M. Mapping the geogenic radon potential in Germany // The Science of the Total Environment. 2001. Vol. 272. P. 217-230.
- Kikaj D., Jeran Z., Bahtijari M., Stegnar P. Radon in soil gas in Kosovo // Journal of Environmental Radioactivity. 2016. Vol. 164. P. 245-252.
- Ciotoli G., Voltaggio M., Tuccimei P., 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, No. 2. P. 355-375.

- Watson Robin J., Smethurst M., Ganerod G., Finne I., et al. The use of mapped geology as a predictor of radon potential in Norway // Journal of Environmental Radioactivity. 2017. Vol. 166, No. 2. P. 341-354.
- Akerblom G. Investigations and mapping of radon risk areas. Geology for environmental planning, Proceed. Symposium Trondheim, Geol. Survey of Norway; 1987. P. 96-106.
- 19. Шилова К.О. Проблемы оценки радоноопасности территорий застройки на примере измерений, проведенных в Российской Федерации и Чешской Республике. Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 4-8 апреля 2016. Томск: Изд-во ТПУ, 2016. Т. 1. С. 609-610.
- Маренный А.М., Цапалов А.А., Микляев П.С., Петрова Т.Б. Закономерности формирования радонового поля в геологической среде. Федеральное медико-биологическое агентство, Федеральное гос. унитарное предприятие Научно-технический центр радиационно-технической безопасности и гигиены ФМБА России. М.: Перо, 2016. 394 с. ISBN 978-5-906883-94-0.
- Ferry C., Beneito A., Richon P., Rob M.C. An automatic device for measuring the effect of meteorological factors on radon-222 flux from soils in the long term. // Radiation Protection Dosimetry. 2001. Vol. 93, No. 3. P. 271–274.
- Jha S., Khan A.H., Mishra U.C. A study of the ²²²Rn flux from soil in the U mineralised belt at Jaduguda // Journal of Environmental Radioactivity. 2000. Vol. 49. P. 157-169.
- Matiullah M.F. Radon exhalation and its dependence on moisture content from samples of soil and building materials // Radiation Measurements. 2008. Vol. 43. P. 1458–1462.
- Kojima H., Nagano K. The influence of meteorological and soil parameters on radon exhalation // Radon in the Living Environment. 1999. Vol. 071. P. 627-642.
- Lawrence C.E., Akber R.A., Bollhöfer A., Martin P. Radon-222 exhalation from open ground on and around a uranium mine in the wet-dry tropics // Journal of Environmental Radioactivity. 2009. Vol. 100. P. 1–8.
- Hosoda M., Shimo M., Sugino M., et al. Effect of Soil Moisture Content on Radon and Thoron Exhalation // Journal of Nuclear Science and Technology. 2007. Vol. 44, No. 4. P. 664-672.
- Ryzhakova N.K. A new method for estimating the coefficients of diffusion and emanation of radon in the soil // Journal of Environmental Radioactivity. 2014. Vol. 135. P. 63-66.
- 28. Рыжакова Н.К., Раменская Г.А. Методы и результаты определения коэффициентов эманирования глинистых грунтов города Томска // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2012. № 2. С. 168-176.
- 29. Рыжакова Н.К., Шестак А.П. Методы и результаты измерения эффективного коэффициента диффузии радона в почвогрунтах // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2009. № 6. С. 555-563.
- Гулабянц Л.А., Заболотский Б.Ю. Мощность «активного» слоя грунта при диффузионном переносе радона в грунтовом основании здания // АНРИ. 2001. № 4. С. 38-40.

Поступила: 14.10.2019 г.

Рыжакова Надежда Кирилловна – кандидат физико-математических наук, доцент Инженерной школы ядерных технологий, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Ставицкая Ксения Олеговна – аспирант Инженерной школы ядерных технологий, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Адрес для переписки: 634050, Томская обл., г. Томск, проспект Ленина, 30; E-mail: shilovaxeniya@gmail.com **Удалов Андрей Александрович** – аспирант Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Россия

Для цитирования: Рыжакова Н.К., Ставицкая К.О., Удалов А.А. Новый подход к проблеме оценки радоноопасности участков застройки // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 57-64. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-2-57-64

A new approach to the problem of assessing the radon hazard of building sites

Nadezhda K. Ryzhakova ¹, Kseniya O. Stavitskaya¹, Andrey A. Udalov ²

¹Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics of Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Tomsk, Russia

Radon and its daughter products create more than half dose from all natural radiation sources. The radon entering the buildings is emitted mainly from soils lying at the base of the foundation. Therefore, before carrying out construction work, the radon hazard of the construction area are determined. In the Russian Federation, the radon hazard of an area can be determined using radon flux density measured on the soil surface. To date, radon researchers came to the conclusion that the geology of the territory affects the amount of radon released from the soil surface. However, there are almost no studies devoted to the release of radon from the surface of various soil types. The paper presents the measuring results of the radon flux density on the surface of loess loams, porcelain clay, argillaceous slate, sand-and-gravel sediment, rocky limestone, clayey limestone, andesite-basalt porphyrite and quartzrock. The measurements were carried out by the accumulation chamber method using the Alfarad Plus measuring complex. Also, measuring radium activity concentration and soil moisture were carried out. The research demonstrates that, depending on the type of soil, the amount of radon emanating from its surface differs by more than an order of magnitude. The largest values of radon flux density of ~ 800 mBq m²s⁻¹ were recorded for and esite-basalt porphyrite and quartzrock. The smallest ones of ~ 40 mBq·m⁻²s⁻¹ were registered for loess loams and argillaceous slates. For soils consisting of small sand and clay grains, a rather strong dependence of the radon flux density on soil moisture was found. When measuring soils with low moisture (2-6%), a proportional dependence of the radium activity concentration on the amount of radon emanating from the soil surface is not observed. The types of soils that lie at the foundations of the buildings, and their physical properties can be used as the basis for classifying building sites according to the degree of radon hazard. Relevant information may be provided by organizations engaged in design and survey work at building plots. The approach proposed in the work for assessing radon hazard will allow avoiding labor-intensive measurements of radon and thereby reduce the financial, material and labor costs of building construction.

Key words: radon, radon flux density, radon hazard, soil, measurement method, radium activity concentration.

References

- Ryzhakova NK, Stavitskaya KO, Udalov AA. Issues in assessment of potential radon hazard at building sites. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(2):37-44. (In Russian). DOI:10.21514/1998-426X-2018-11-2-37-44
- Bannov YuA. Laboratory of radiation control «GEOKON». Two years: work experience. ANRI. 2005;2(41): 54-72 (In Russian)
- 3. Gruber V, Bossew P, De Cort M, Tollefsen T. The European map of the geogenic radon potential. *J. Radiol. Prot.* 2013;33(1): 51-60.
- EPA (US Environmental Protection Agency) 1993 EPA Map of Radon Zones (Report 402-R-93- 071). – Available from: www.epa.gov/radon/zonemap.html [Accessed 28 February 2012]
- Guida D, Guida M, Cuomo A, Guadagnuolo D, Siervo V. Assessment and Mapping of Radon-prone Areas on a regional scale as application of a Hierarchical Adaptive and Multiscale Approach for the Environmental Planning. Case Study of Campania Region, Southern Italy. WSEAS Transactions on Systems. 2013;12(2): 105-120.
- İçhedefa M, Saç MM, Camgöz B, Bolca M, Harmanşah Ç. Soil gas radon concentrations measurements in terms of great soil groups. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013;126: 165-171.
- Szabó KZ, Jordan G, Horváth Á, Szabó C. Mapping the geogenic radon potential: methodology and spatial analysis for central Hungary. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2014;129: 107–120.

Kseniya O. Stavitskaya Tomsk Polytechnic University Address for correspondence: Lenina prosp., 30, Tomsk, 634050, Russia; E-mail: shilovaxeniya@gmail.com

- lelsch G, Cushing ME, Combes P, Cuney M. Mapping of the geogenic radon potential in France to improve radon risk management: methodology and first application to region Bourgogne. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2010;101: 813-820.
- Mazur D, Janik M, Loskiewicz J, Olko P, Swakon J. Measurements of radon concentration in soil gas by CR-39 detectors. *Radiation Measurements*. 1999;31: 295- 300.
- 10. Winkler R, Ruckerbauer F, Bunzl K. Radon concentration in soil gas: a comparison of the variability resulting from different methods, spatial heterogeneity and seasonal fluctuations. *Science of The Total Environment*. 2001;272: 273-282.
- Mohammad AI, AI-Zubaidy NN. Evaluation of radon gas concentration in the air of soil and dwellings of Hawar and Foara villages, using (CR-39) detectors. *Radiation Measurements*. 2008;43: S452-S455.
- 12. Jönsson G. Soil radon depth dependence. *Radiation Measurements*. 2001;34: 415-418.
- 13. Neznal M, Neznal M. The new method for Assessing the Radon Risk of Building Sites. *Czech Geological Survey Special Papers*. 2004;16: 7-47.
- Siehl A, Stegemann R, Valdivia-Manchego M. Mapping the geogenic radon potential in Germany. *The Science of the Total Environment*. 2001;272: 217-230
- 15. Kikaj D, Jeran Z, Bahtijari M, Stegnar P. Radon in soil gas in Kosovo. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016;164: 245-252.
- Ciotoli G, Voltaggio M, Tuccimei P, Soligo M, Pasculli A, Beaubien SE, 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;166(2): 355-375.
- Watson Robin J, Smethurst M, Ganerod G, Finne I, Rudjord A. The use of mapped geology as a predictor of radon potential in Norway. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017;166(2): 341-354.
- Akerblom G. Investigations and mapping of radon risk areas. Geology for environmental planning, Proceed. Symposium Trondheim, Geol. Survey of Norway; 1987. P. 96-106.
- 19. Shilova KO. Problems of assessing the radon hazard of building territories by the example of measurements taken in the Russian Federation and the Czech Republic. Problems of geology and subsoil development: proceedings of the XX International Academician M.A. Usov students and young scientists dedicated to the 120th anniversary of the founding of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, April 4-8, 2016.

Tomsk: TPU Publishing House; 2016. V. 1. P. 609-610 (In Russian)

- 20. Marenny AM, Tsapalov AA, Miklyaev PS, Petrova TB. Formation patterns of the radon field in the geological environment. Federal Medical and Biological Agency, Scientific and Technical Center for Radiation Technical Safety and Hygiene of Russia; 2016. 394 p. (In Russian)
- Ferry C, Beneito A, Richon P, Robé MC. An automatic device for measuring the effect of meteorological factors on radon-222 flux from soils in the long term. *Radiation Protection Dosimetry*. 2001;93(3): 271–274.
- 22. Jha S, Khan AH, Mishra UC. A study of the ²²²Rn flux from soil in the U mineralised belt at Jaduguda. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2000;49: 157-169.
- 23. Matiullah MF. Radon exhalation and its dependence on moisture content from samples of soil and building materials. *Radiation Measurements*. 2008;43: 1458–1462.
- 24. Kojima H, Nagano K. The influence of meteorological and soil parameters on radon exhalation. *Radon in the Living Environment*. 1999;071: 627-642.
- 25. Lawrence CE, Akber RA, Bollh fer A, Martin P. Radon-222 exhalation from open ground on and around a uranium mine in the wet-dry tropics. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2009;100: 1–8.
- Hosoda M, Shimo M, Sugino M, Furukawa M, Fukushi M. Effect of Soil Moisture Content on Radon and Thoron Exhalation. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2007;44(4): 664-672.
- 27. Ryzhakova NK. A new method for estimating the coefficients of diffusion and emanation of radon in the soil. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2014;135: 63-66.
- Ryzhakova NK, Ramenskaya GA. Methods and results of determining the emanation coefficients for clay soils of Tomsk. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya = Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology.* 2012;2: 168-76 (In Russian)
- Ryzhakova NK, Shestak AP. Methods and results of measurements of the radon effective diffusion coefficient in soils. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya = Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology.* 2009;6: 555-63 (In Russian)
- Gulabyanc LA, Zabolotsky BYu. Power of the "active" soil layer during diffusion transfer of radon in the soil base of a building. ANRI. 2001;4: 38-40 (In Russian)

Received: October 14, 2019

Nadezhda K. Ryzhakova – candidate of Physical and Mathematical Science, senior lecturer of School of Nuclear Science & Engineering, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

For correspondence: Kseniya O. Stavitskaya – post-graduate student of School of Nuclear Science & Engineering, Tomsk Polytechnic University (Lenina prosp., 30, Tomsk, 634050, Russia; E-mail: shilovaxeniya@gmail.com)

Andrey A. Udalov – post-graduate student of V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics of Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Tomsk, Russia

For citation: Ryzhakova N.K., Stavitskaya K.O., Udalov A.A. A new approach to the problem of assessing the radon hazard of building sites. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020. Vol. 13, No 2. P. 57-64. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-2-57-64