

## Совершенствование инженерно-экологических изысканий при обследовании загрязнения радоном

*А.В. Дериченко, Е.В. Мартынова, Н.С. Гаврилова, Е.А. Зима,*

*А.А. Смоленцева, А.А. Желтоногова*

*Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного  
технического университета*

**Аннотация:** Статья посвящена разработке нового способа обработки данных замеров концентрации радона математическим способом. Представив полученные значения в виде случайной величины, можно произвести ряд операций, которые могут позволить усовершенствовать не только инженерно-экологические изыскания, но и показать влияние строительства на окружающую среду в области радиационного контроля.

**Ключевые слова:** радон, загрязнение, ионизирующее излучение, инженерные изыскания, случайная величина, эмпирическая функция.

Главным источником естественного ионизирующего излучения на человека является радон, который вместе с дочерними продуктами распада (ДПР) вносит примерно 3/4 всего облучения на человека, получаемого за год. Радон, попадая в организм, интенсивно его облучает и может стать причиной ряда серьёзных заболеваний [1]. Большая часть облучения обусловлена присутствием инертного газа радона внутри помещений, в которых обычный человек из индустриальных стран проводит до 80% времени или примерно 7000 часов в год [2]. На дозу, обусловленную радоном, существенное влияние оказывают радиационные характеристики строительных материалов и почвы под зданием. Таким образом, создается большая необходимость контроля концентрации радона, позволяющая обеспечить радиационную безопасность населения [3].

Инженерно-экологические изыскания (ИЭИ) являются одним из основных видов изысканий в строительстве. Изыскательные работы выполняются для оценки современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей среды под влиянием антропогенной нагрузки [4]. В соответствии с СанПиН 2.1.7.1287-03 п. 6.4 и требованиями ГОСТ

---

17.4.2.01.-81, радиационное обследование участка проектируемого строительства входит в перечень ИЭИ и включает в себя, в том числе измерение плотности потока радона (ППР) [5].

В качестве исследования были взяты измерения ППР на горно-обогатительном комбинате, находящемся в Волгоградской области. Измерения ППР проводились в рамках ИЭИ три раза: до начала строительства, на нетронутой почве (2009); на начальном этапе строительства, после снятия верхнего плодородного слоя почвы (2014); после завершения строительства (2016).

В черте однородных участков, природа вариации частных значений ППР, как правило, не зависит от шага, направления и протяжённости линии наблюдения, т.е. ППР можно рассматривать как случайную величину. Представим полученные значения радона разных годов, в виде выборки чисел или выборочной совокупности, таким образом, что получится три набора чисел, и отнесем каждую выборку чисел к понятию случайной величины [6]. В данном случае случайной величиной будет выступать каждое значение измерения ППР, определенные в результате замеров в рамках ИЭИ на разных этапах строительства. Во время проведения замеров, случайная величина принимает одно из возможных значений, при этом появление того или иного значения является случайным событием [7; 8].

Рассмотрим первую выборку чисел, составленную из замеров до начала строительства (2009). На основании ее составим закон распределения значений плотности потока радона, до начала строительства в 75 точках.

Таблица 1. Оценки параметров распределения.

<b>Оценки параметров</b>	<b>Значения</b>
Среднее значение	11,284
Дисперсия	56,288
Среднее квадратичное отклонение	7,502
Мода	13,5

Медиана	10,8
Минимальное значение	0,71
Максимальное значение	30

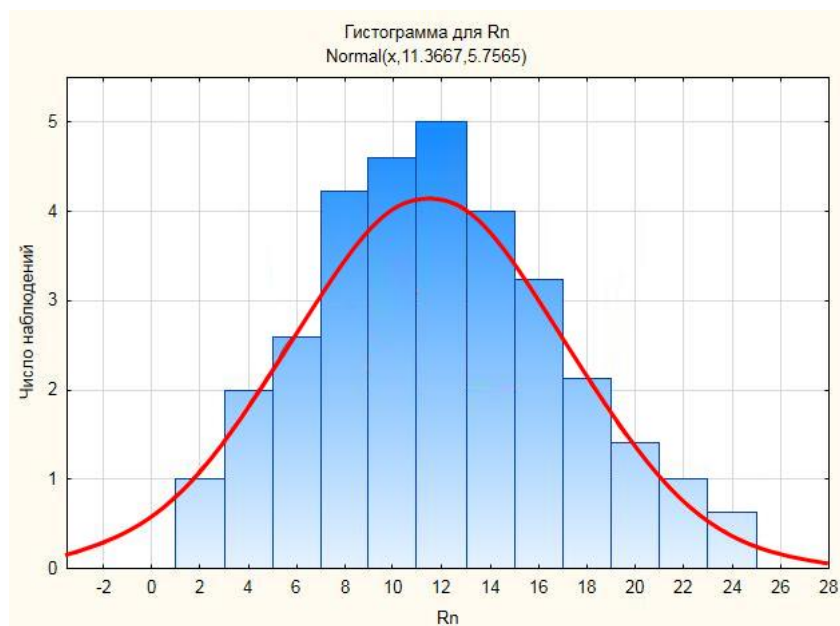


Рис. 1. Гистограмма распределения и теоретическая кривая плотности потока радона.

Проверка закона распределения концентрации радона  $Rn$  Бк/м<sup>3</sup> показала, что лучше всего экспериментальные данные описываются смешанным гауссовским распределением. Проверка осуществлялась с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. По экспериментальным данным была вычислена статистика  $d = 0,10$  и  $p = 0,62$ , которая показывают, что нет оснований отклонить нулевую гипотезу. Функция плотности смешанного гауссовского распределения имеет вид:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n k_i f_i(x), \quad (1)$$

где  $k_i$  — числовые коэффициенты или коэффициенты смеси, а  $f_i(x)$  — функции плотности, т.е. функции нормального распределения [9].

Полученные значения параметров записаны в табл. 2.

Таблица 2. Значения параметров для смешанного гауссовского распределения.

Название параметров	Первая функция плотности	Вторая функция плотности
Коэффициент смеси	0,36	0,64
Среднее значение	3,86	15,47
Стандартное отклонение	1,74	6,03

Подставляя данные значения в функцию плотности распределения  $Rn$ , получим следующее выражение:

$$f(Rn) = \frac{0,36}{1,74\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Rn-3,86)^2}{6,055}} + \frac{0,64}{6,03\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(Rn-15,47)^2}{72,722}} \quad (2)$$

Проверка нормального закона распределения случайной величины  $f(x)$  над выборками чисел измерения ППР 2014 и 2016, также подтвердили выполнение гипотезы о нормальном распределении. Таким образом, анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что между полученными расчетными данными и данными, полученными в ходе измерения существует корреляционная зависимость, т.е. взаимосвязь двух и более случайных величин [10-11].

В районе расположения ГОКа, как и на всей Волгоградской области, преобладают глинистые грунты. Так как глинистые грунты являются слабопроницаемыми, то существует гипотеза, что распределение ППР на таких грунтах является неоднородным. При строительстве ГОКа был снят верхний слой грунта глубиной 0,15-0,3 метра, этот факт явился причиной более равномерного выхода радона на поверхность почвы.

Для наглядности представим значения плотности вероятности случайной величины виде *гистограммы и полигона частот*. Графики являются наглядной формой отображения рядов распределения, в нашем случае плотности потока радона. Этот графический способ позволяет

сравнить показания ППР в пределах однородных участков, а также наглядно показывает общее изменение замеров до и после строительства.

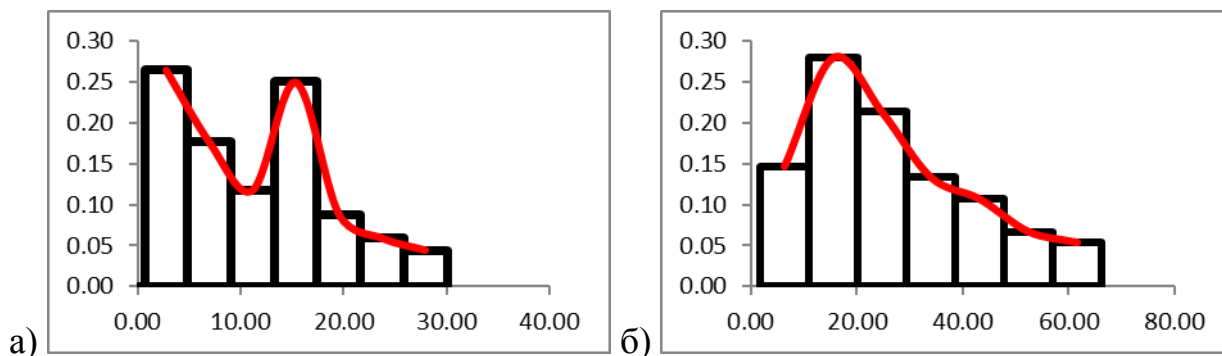


Рис. 2. Гистограмма и полигон относительных частот, для исходных данных замеров радона до и начала строительства.

Данные диаграммы в целом имеют схожий вид. Следует отметить, что в обоих случаях максимумы распределения (моды) смещены влево, а в правых частях где располагаются более высокие значения ППР, можно наблюдать «хвост», т.е. постепенное снижение относительной частоты с увеличением класса значений ППР. Как видно из диаграмм, несмотря на внешнюю общую закономерность в виде смещения моды влево, мы видим, что график до строительства имеет скачки интервалов по сравнению с соседними. При этом они расположены на разных соответствующих значениях ППР.

Таким образом, можно сказать, что проницаемость приповерхностного слоя грунта является одним из ключевых факторов определяющих пространственное ППР в пределах однородных участков, то есть, проницаемость приповерхностных отложений – один из ведущих факторов, определяющих распределение. Видно, что после завершения строительных работ общие показатели функции плотности радона выросли, и в целом стали более равномерными. При этом, на основании СанПиН 2.1.7.1287-03 п. 6.4, можно утверждать, что превышения допустимых концентраций плотности потока радона нет.

Другим способом сравнительного анализа исходных данных замеров концентрации радона, могут стать графики эмпирической функции распределения случайных величин [12]. Эмпирическая функция распределения имеет вид:

$$F^*(x) = \frac{n_x}{n} \quad (3)$$

Для построения эмпирической функции распределения по исходным данным плотности потока радона, в нашем случае взяты значения правого интервала и высчитаны относительно накопленные частоты.

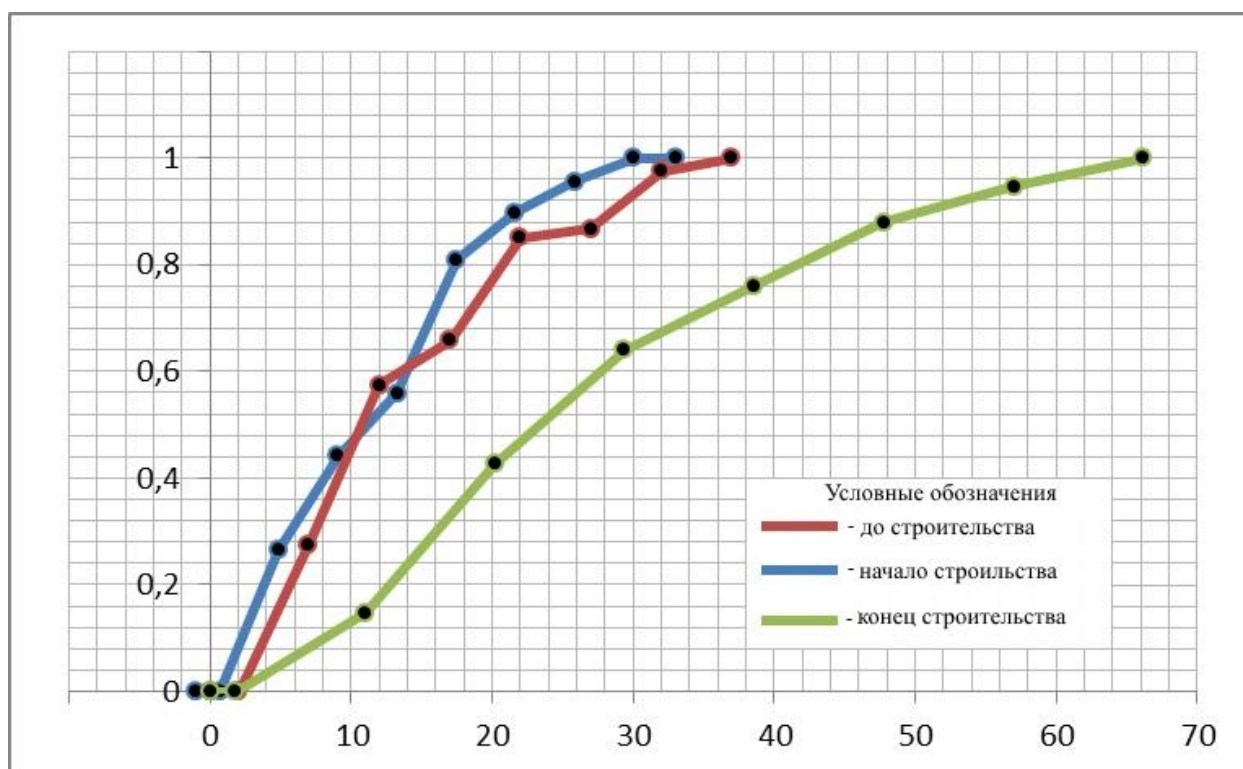


Рис. 3 Эмпирические функции распределения случайных величин концентрации радона по замерам на разных этапах строительства ГОКа.

Сравнив полученные кривые, можно увидеть, что кривые до и в начале строительства расположены в примерно одном и том же диапазоне и имеют две точки пересечения, в отличие от кривой после завершения стройки, которая имеет более плавный вид и растянута на гораздо большие значения по оси абсцисс, которая отвечает за величину полученных значений

концентрации радона. Можно наглядно увидеть разницу полученных значений до начала строительства и на начальном этапе в сравнении с данными после завершения.

Графики эмпирической функции распределения могут быть использованы не только для оценки концентрации радона в строительстве, но и для оценки и сравнения экологической обстановки радиобезопасности более обширных территорий. Такие графики можно также строить для значений разных лет, по замерам, выполненным в одних и тех границах участков исследований [12].

Предложенные идеи обработки данных в виде представления замеров случайной величины, построения гистограмм, полигонов частот и эмпирической функции распределения могут лечь в основу радиационного раздела инженерно-экологических изысканий, а показанные графики и диаграммы - наглядно показать влияние любого строительства на окружающую среду. В дальнейшем данный способ обработки данных, может быть, применим не только к данным ППР, но и другим показателям окружающей среды измеряемых в рамках ИЭИ, таких как: шум, инфразвук, измерений подземных и поверхностных вод и т.д.

### **Литература**

1. Чушкин, Н.А., Рябкова, В.А., Мрачковская, А.И. Актуальность изучения отдаленных последствий влияния радона на человека // Вестник Дальневосточного государственного медицинского университета. Хабаровск. 2012. С.85-88.
2. Лапкало, А.А., Бубнов, Д.Н., Качумов, В.В. Природные источники облучения. Дозы и риск. // Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова. Рязань. 2001. С. 61-64.

3. Сидельникова, О.П. Естественная радиоактивность строительных материалов Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура». - 2017. - № 50 (69). - С. 30-36.

4. Хорзова, Л.И., Быкадорова, О.А. Снижение эксхалляции дочерних продуктов радона из строительных материалов в воздух жилых помещений // Инженерный вестник Дона. 2018. №1. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4787>.

5. Сидякин, П.А., Сидельникова, О.П., Михнев, И.П. Осуществление радоновой безопасности при строительстве зданий и сооружений // Экологическая безопасность и экономика городских и теплоэнергетических комплексов: матер. междунар. науч.-практ. конф. - Волгоград, 1999. - С. 12-14.

6. Rafique, M., Rahman, S., Rahman, S.U., et. Al. Indoor radon concentration measurement in the dwellings of district Poonch (Azad Kashmir), Pakistan. Radiat. Prot. Dosim. 2010. № 138(2). Pp. 158 – 165.

7. Кретов, М.В. О компьютерном моделировании случайных величин // Вестник КГУ. Серия Информатика и телекоммуникации. Выпуск 1-2. 2015. С. 77-83.

8. Останов, К., Назаров О.У., Баротова М.А. Случайные величины и их законы распределения // Вестник науки и образования. Часть 2 / Самарканд. 2019. С.41-44.

9. Иванова Ю.П., Соловьева Т.В., Дериченко А.В., Боженкова А.С., Маркин В.С., Азаров В.Н. Влияние транспортных магистралей на формирование шума в городской среде // Инженерный вестник Дона. 2020. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6257](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6257).

10. Макарова, Н.В., Трофимец, В.Я. Статистика в Excel: Учеб. пособие. - М.: Финансы и статистика, 2006, 368 с.

---



11. Кузьмичев, А.А., Азаров В.Н. Исследование закономерностей загрязнения строительных конструкций с помощью методов компьютерного моделирования // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. - № 50 (69). – С. 440-450.

12. Froňka, A. Indoor and soil gas radon simultaneous measurements for the purpose of detail analysis of radon entry pathways into houses. Radiat. Prot. Dosim. 2011. No. 145(2 – 3). Pp. 117 – 122.

### References

1. CHushkin, N.A., Ryabkova, V.A., Mrachkovskaya, A.I. Vestnik Dal'nevostochnogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta. Habarovsk. 2012. pp.85-88/

2. Lapkalo, A.A., Bubnov, D.N., Kachumov, V.V. Prirodnye istochniki oblucheniya. Dozy i risk. Ryazanskij gosudarstvennyj medicinskij universitet imeni akademika I.P. Pavlova. Ryazan'. 2001. Pp. 61-64.

3. Sidel'nikova, O.P. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. 2017. № 50 (69). Pp. 30-36.

4. Horzova, L.I., Bykadorova, O.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4787](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4787).

5. Sidyakin, P.A., Sidel'nikova, O.P., Mihnev, I.P. Ekologicheskaya bezopasnost' i ekonomika gorodskih i teploenergeticheskikh kompleksov: mater. mezhdunar. nauch. prakt. konf. Volgograd, 1999. Pp. 12-14.

6. Rafique, M., Rahman, S., Rahman, S.U., et. Al. Indoor radon concentration measurement in the dwellings of district Poonch (Azad Kashmir), Pakistan. Radiat. Prot. Dosim. 2010. No. 138(2). Pp. 158 – 165.



7. Kretov, M.V. Vestnik KGU. Seriya Informatika i telekomunikacii. Vypusk 1-2. 2015. Pp. 77-83.
8. Ostanov, K., Nazarov O.U., Barotova M.A. Vestnik nauki i obrazovaniya. CHast' 2. Samarkand. 2019. pp.41-44.
9. Ivanova YU.P., Solov'eva T.V., Derichenko A.V., Bozhenkova A.S., Markin V.S., Azarov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6257](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6257).
10. Makarova, N.V., Trofimec, V.YA. Statistika v Excel [Excel statistics]. Ucheb. posobie. M.: Finansy i statistika, 2006, 368 p.
11. Kuz'michev, A.A., Azarov V.N. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. 2017. № 50 (69). Pp. 440-450.
12. Froňka, A. Radiat. Prot. Dosim. 2011. No. 145(2 – 3). Pp. 117 – 122.