

**РАДОНОВОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС**

Д. Д. Десятов<sup>1</sup>, А. Д. Онищенко<sup>1</sup>, А. В. Васильев<sup>1</sup>, А. В. Климшин<sup>2</sup>, В. О. Никитенко<sup>3</sup>,  
А. Е. Самбуров<sup>3</sup>, М. В. Жуковский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

<sup>2</sup> *ООО «НПФ «Резольвента», г. Екатеринбург, Россия*

<sup>3</sup> *Белоярская АЭС, г. Заречный, Россия*

*В статье рассмотрены результаты выборочного радонового обследования помещений Белоярской АЭС. Выполнено 1 153 краткосрочных измерения эквивалентной равновесной объемной активности и 235 измерений интегрирующими трековыми детекторами. Среднее значение ЭРОА радона в помещениях Белоярской АЭС составило 18 Бк/м<sup>3</sup>, ЭРОА торона – 1,7 Бк/м<sup>3</sup>.*

**Ключевые слова:** природное облучение; радон; объемная активность; эквивалентная равновесная объемная активность.

## 1. Введение

В последние несколько десятилетий большое внимание уделяется радиационной безопасности населения, персонала и окружающей среды. Важную роль в радиационном воздействии на персонал и население в помещениях зданий играют природные источники облучения. Так, в России вклад природных источников ионизирующего излучения (ИИИ) в суммарную дозу составляет 86 % [1]. К таким источникам относится газ радон, который повсеместно присутствует в атмосфере, накапливается в зданиях и является наиболее важным с точки зрения влияния на человека природным источником облучения [2–4]. Его негативное влияние связано с возможностью индуцирования рака легкого и преждевременной смертью от этого заболевания. Особое внимание к проблеме защиты населения от облучения радоном в жилищах связано с тем, что среди всех источников природного происхождения радон вносит наибольший вклад в облучение населения [5]. Информация об объемных активностях радона на радиационно опасных промышленных объектах, таких как АЭС, также представляет значительный интерес. На таких объектах наличие радона в атмосфере может стать дополнительным фактором воздействия на персонал наряду с техногенными источниками ионизирующего излучения. Требования к защите от природного облучения в производственных условиях, в т. ч. от облучения радоном, отражены в п. 4.2 НРБ-99/2009 [6].

Основные пути поступления радона на промышленных объектах – грунтовое основание и ограждающие конструкции зданий [7]. Различные факторы, такие как пористая среда грунта, строительные материалы и щели, трещины и разломы в конструкциях, могут способствовать поступлению радона. Движущей силой переноса радона является разность концентраций и давлений между внутренним объемом здания и наружной атмосферой в случаях диффузионного и конвективного поступления соответственно. Вентиляция помещений играет важную роль в разбавлении воздуха помещений атмосферным воздухом с низкой объемной активностью радона.

В настоящей статье рассмотрены результаты выборочного радонового обследования помещений Белоярской АЭС. Цель исследования – проанализировать влияние различных факторов на величину и вариабельность накопления радона в производственных помещениях крупного промышленного объекта.

## 2. Материалы и методы

Радоновое обследование было проведено на территории Белоярской атомной

станции в 2019 и 2022 гг. Количество обследованных зданий на территории промплощадки энергоблока № 4 Белоярской атомной станции составило 45 зданий, на территории промплощадки № 1–3 энергоблоков – 33 здания.

Обследование включало измерения мощности амбиентного эквивалентна дозы гамма-излучения (МАЭД) и измерения объемной активности (ОА) радона в производственных помещениях. Гамма-съёмка производилась путем обхода помещений здания по свободному маршруту по центру помещений при непрерывном наблюдении за показаниями поискового радиометра. Объем контроля был выбран следующим образом:

- в сооружениях производственного назначения (при числе помещений для постоянного пребывания людей до 30) оптимальное число помещений, где проводились измерения, составило не менее 25 % от общего числа;

- в сооружениях производственного назначения (при числе помещений для постоянного пребывания людей до 100) оптимальное число помещений, где проводились измерения, составило не менее 25 % от общего числа;

- в сооружениях производственного назначения (при числе помещений для постоянного пребывания людей свыше 100 и до 1 000) оптимальное число помещений, где проводились измерения, составило не менее 5 % от общего числа, но не менее 20;

- при большем количестве помещений производственного назначения для постоянного пребывания людей оптимальное число помещений, где проводились измерения, составило не менее 50.

Число и расположение подлежащих обследованию помещений выбиралось исходя из типа помещений, имеющих различное функциональное назначение. При этом наибольшую долю от всех выбранных помещений составляли те, в которых люди проводят наибольшее количество времени.

Краткосрочные измерения в помещении выполнялись в точке, расположенной в его центре на высоте 1 м от пола. При размерах более 100 м<sup>2</sup> количество точек увеличивалось из расчета одно измерение на каждые 100–200 м<sup>2</sup>.

Для повышения эффективности измерений ОА радона использовалось два режима. Выбор режима измерений определялся по принадлежности помещений заданной группе со стабильным «А» и нестабильным характером воздухообмена «С» соответственно, а также в зависимости от значений ОА радона в помещениях, полученных в краткосрочном режиме. Данные о принадлежности помещений соответствующим группам были определены в ходе обследований в рамках работ.

В помещениях групп «А» и «С» проводились краткосрочные измерения ОА радона. Краткосрочные измерения – непрерывные измерения (или пробоотбор с последующим измерением) продолжительностью от нескольких минут до одного часа. При измерениях был использован радиометр аэрозолей РАА-10. Для более точной оценки все обследуемые помещения предварительно выдерживались с закрытыми окнами и дверьми для достижения стабильного на период измерения воздухообмена. Всего было выполнено 246 краткосрочных измерений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона в помещениях энергоблоков № 1, 2; 455 измерений в помещениях энергоблока № 3; 452 измерения в помещениях энергоблока № 4.

В помещениях группы «С» с нестабильным характером воздухообмена проводились краткосрочные измерения, а также долгосрочные (интегрирующие) измерения. Долгосрочные измерения – непрерывные измерения, продолжительность которых составила не менее 2 месяцев. Измерения выполнялись с помощью радоновых экспозиметров «РЭИ-4» (рис. 1) для измерения средней объемной активности радона в воздухе трековым методом «ТРЕК-РЭИ-1М». Всего выполнено 235 долгосрочных измерений ОА (52 измерения в помещениях энергоблоков № 1, 2; 88 измерений в помещениях энергоблока № 3; 95 измерений в помещениях энергоблока № 4). Период измерений (сентябрь – ноябрь) выбирался так, чтобы средняя

температура примерно соответствовала среднегодовой температуре, которая в этом регионе составляет приблизительно 4–7 °С, поэтому сезонная нормализация не проводилась.

Отбор проб воздуха и установка интегральных средств измерений ОА радона производились на высоте 1–2 м от пола, не ближе 0,5 м от стен помещения. При размерах обследуемого помещения более 100 м<sup>2</sup> количество измерений увеличивалось из расчета одно измерение на каждые 100–200 м<sup>2</sup>.



Рис. 1. Радоновый экспозиметр «РЭИ-4» с трековым детектором LR-115

В многоэтажных производственных зданиях число контролируемых помещений включало помещения на каждом этаже. Процент помещений на соответствующих этажах зданий показан на рис. 2. Почти половина измерений проведена в подвальных помещениях и в помещениях, находящихся на первом этаже обследуемых зданий.

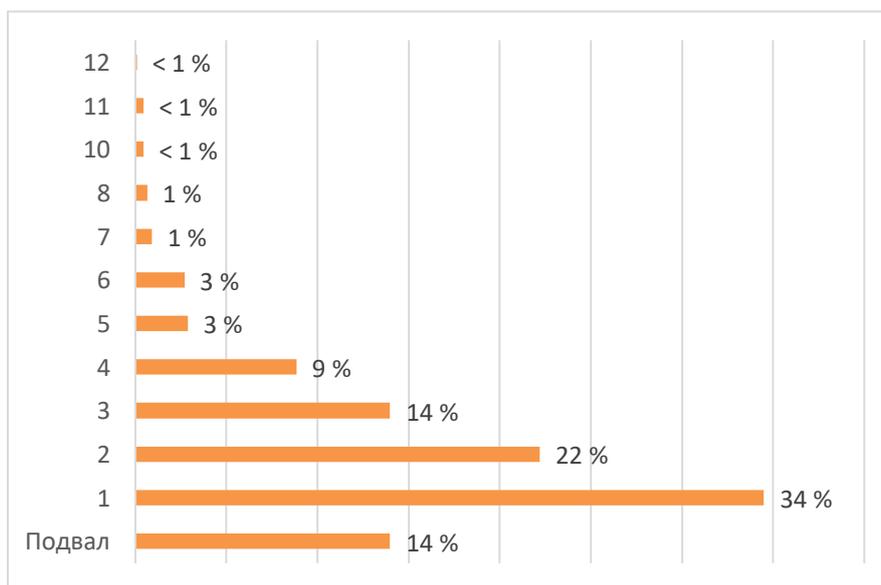


Рис. 2. Процент исследуемых помещений на соответствующих этажах зданий

### 3. Результаты

По результатам краткосрочных измерений (всего 1 153 измерения) было получено среднее арифметическое ЭРОА радона – 18 Бк/м<sup>3</sup>, среднее геометрическое – 8 Бк/м<sup>3</sup>, стандартное отклонение логарифма  $\sigma_{LN}=0,94$ . Диапазон значений ЭРОА торона, полученный в режиме краткосрочных измерений, составил

3,0–9,0 Бк/м<sup>3</sup>, притом в 94 % помещений результаты оказались меньшими нижнего предела измерений (НПИ) прибора. Коэффициент равновесия радона составил от 0,39 до 0,86 при среднем значении 0,62.

В помещениях группы «С» с нестабильным характером воздухообмена были также проведены долгосрочные (интегрирующие) измерения. На основании совместного анализа результатов (235 долгосрочных измерений ОА в помещениях зданий всех четырех энергоблоков Белоярской АЭС, 20 % от всей выборки) для помещений группы «С» было получено характерное логнормальное распределение ОА радона для помещений, в которых могут ожидать значения, превышающие среднее значение ЭРОА радона 18 Бк/м<sup>3</sup>, полученное в ходе краткосрочных измерений (рис. 3). Параметры распределения в данной выборке помещений: среднее арифметическое значение ОА радона в выборке составило 170 Бк/м<sup>3</sup>, среднее геометрическое – 72 Бк/м<sup>3</sup>, стандартное отклонение логарифма  $\sigma_{LN}=1,28$ .

Таким образом, прогнозируемая доля помещений с ЭРОА радона выше 300 Бк/м<sup>3</sup> (с учетом коэффициента равновесия 0,62) составит не более 1 % по всем помещениям Белоярской АЭС.

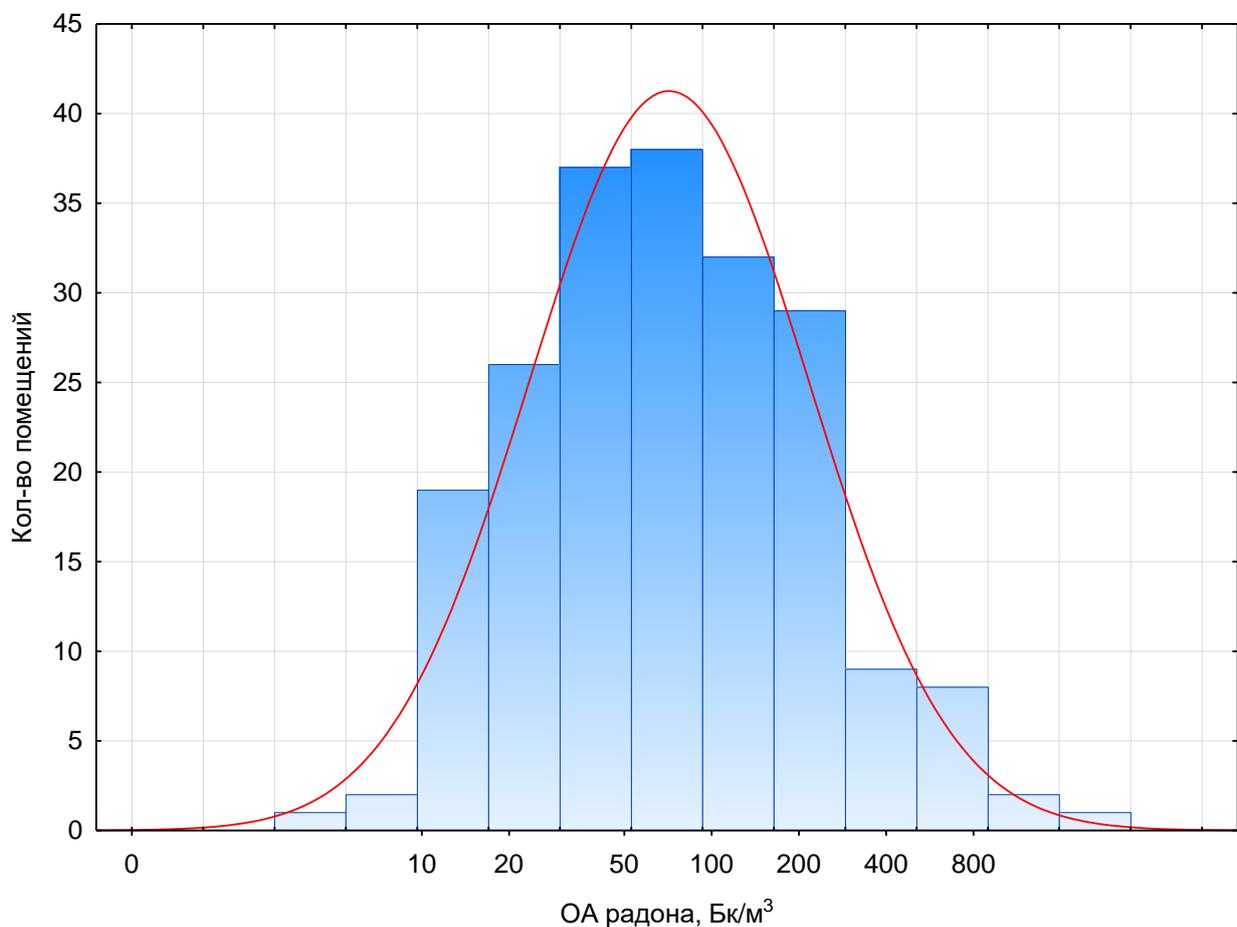


Рис. 3. Логнормальное распределение ОА радона в помещениях зданий Белоярской АЭС

Был проведен анализ влияния типа вентиляции помещений на значения ОА радона. На рис. 4 видно, что отсутствие принудительной вентиляции в помещении негативно сказывается на уровне ОА радона в помещении.

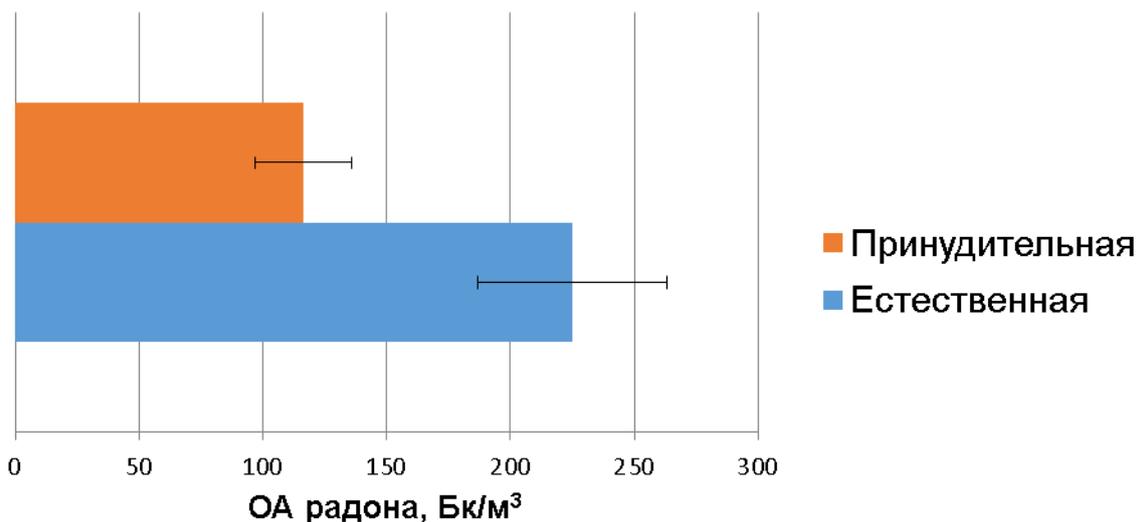


Рис. 4. Влияние типа вентиляции помещений на средние значения ОА радона.

#### 4. Выводы

1. Проведено первичное обследование радиационной обстановки, обусловленной природными источниками ионизирующего излучения на рабочих местах Белоярской АЭС. На рабочих местах постоянного и временного пребывания персонала Белоярской АЭС проведены измерения объемной активности радона интегрирующими трековыми детекторами и краткосрочные измерения ОА радона. Выполнено 1 153 краткосрочных измерения эквивалентной равновесной объемной активности и 235 измерений интегрирующими трековыми детекторами. Согласно п. 4.2 «НРБ-99/2009» ЭРОА радона в воздухе помещений в течение года не должна превышать 310 Бк/м<sup>3</sup>.

2. Среднее значение ЭРОА радона в помещениях Белоярской АЭС составило 18 Бк/м<sup>3</sup>. Также получено характерное логнормальное распределение ОА радона для тех помещений Белоярской АЭС, где могут создаваться условия для повышенного накопления радона. Получено, что прогнозируемая доля помещений с ЭРОА радона выше 310 Бк/м<sup>3</sup> (с учетом коэффициента равновесия 0,62) составит не более 1 % по всем помещениям Белоярской АЭС.

3. При предварительном анализе ситуации может быть сделан вывод о том, что в технологических процессах, характерных для Белоярской АЭС, отсутствуют операции, приводящие к появлению в атмосфере пыли с высоким содержанием природных радионуклидов (радиоактивные ряды распада <sup>238</sup>U и <sup>232</sup>Th). Мощность дозы внешнего излучения, составной частью которого является и внешнее излучение от природных источников, контролируется как на территории Белоярской АЭС, так и в пределах санитарно-защитной зоны в соответствии с регламентом радиационного контроля. Единственными природными источниками радиационного воздействия на персонал, требующими дополнительного изучения, являются только изотопы радона <sup>222</sup>Rn и <sup>220</sup>Rn, а также их дочерние продукты распада.

#### 5. Список литературы

1. *Онищенко, Г. Г.* Основные направления обеспечения радиационной безопасности населения Российской Федерации на современном этапе / Г. Г. Онищенко, И. К. Романович // Радиационная гигиена. – 2014. – 7(4). – 5–22.
2. *Васильев, А. В.* Характер и периодичность изменения объемной активности радона в помещении / А. В. Васильев, М. В. Жуковский // АНРИ. – 2015. – № 2(81). – С. 42–47.
3. Study of the zooplankton community as an indicator of the trophic status of reservoirs of the Chelyabinsk Region, Russia / I. V. Mashkova, A. M. Kostriyko, V. V. Trofimenko, A. I. Slavnya

// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Macao, China, 16–19 July 2019. – Macao, China: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012013. – EDN RKKCCW.

4. SSG32. Specific Safety Guide. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. – Vienna: IAEA, 2015. – 112 с.
5. Обзор рекомендаций МАГАТЭ по защите от облучения радоном в жилищах / И. В. Ярмошенко, Г. П. Малиновский, А. В. Васильев, М. В. Жуковский // АНРИ. – 2015. – № 4(83). – С. 22–28.
6. Нормы радиационной безопасности. СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009): постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 07.07.2009 № 47.
7. Влияние геогенных и антропогенных факторов на процессы поступления и накопления радона в зданиях (на примере населенных пунктов, расположенных на реке Тече) / И. В. Ярмошенко, А. В. Васильев, Г. П. Малиновский, А. А. Селезнев // АНРИ. – 2017. – № 3(90). – С. 62–70.

#### **Сведения об авторах:**

**Десятов Денис Дмитриевич**, инженер-исследователь Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. Эл. почта: [desyatovdenis1995@gmail.com](mailto:desyatovdenis1995@gmail.com).

**Онищенко Александра Дмитриевна**, к. б. н., ст. н. с. Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

**Васильев Алексей Владимирович**, к. т. н., заведующий лабораторией Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

**Климшин Алексей Валерьевич**, к. т. н., директор ООО «НПФ «Резольвента», Екатеринбург, Россия.

**Никитенко Виталий Олегович**, руководитель группы индивидуального дозиметрического контроля отдела радиационной безопасности БАЭС, г. Заречный, Россия.

**Самбуров Анатолий Евгеньевич**, руководитель группы радиационного контроля блоков 1,2 отдела радиационной безопасности БАЭС, г. Заречный, Россия.

**Жуковский Михаил Владимирович**, д. т. н., г. н. с. Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

## RADON ASSESMENT OF BELOYARSK NPP

D. D. Desyatov<sup>1</sup>, A. D. Onischenko<sup>1</sup>, A. V. Vasiliev<sup>1</sup>, A. V. Klymshin<sup>2</sup>, V. O. Nikitenko<sup>3</sup>,  
A. E. Samburov<sup>3</sup>, M. V. Zhukovsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
Ekaterinburg, Russia*

<sup>2</sup> *NPF «Rezolventa», Ekaterinburg, Russia*

<sup>3</sup> *Beloyarsk NPP, Zarechny, Russia*

*The results of selective radon examination of the Beloyarsk NPP compartments are considered. 1 153 short-term measurements of equivalent equilibrium volumetric activity and 235 measurements by integrating track detectors were performed. The mean value of radon and thoron EEVA in the Beloyarsk NPP compartments is 18 Bq/m<sup>3</sup> and 1,7 Br/m<sup>3</sup> respectively.*

**Key words:** natural irradiation; radon; volume activity; equivalent equilibrium volumetric activity.

### References

1. *Onishenko, G. G. Current trends of the provision for radiation safety of the population of the Russian Federation / G. G. Onishenko, I. K. Romanovich // Radiation Hygiene. – 2014. – 7(4). – P. 5–22.*
2. *Vasilyev, A. V. The Temporal Variations of Radon Concentrations in the Rooms / A. V. Vasilyev, M. V. Zhukovsky // ANRI. – 2015. – № 2(81). – P. 42–47.*
3. *Study of the zooplankton community as an indicator of the trophic status of reservoirs of the Chelyabinsk Region, Russia / I. V. Mashkova, A. M. Kostriyko, V. V. Trofimenko, A. I. Slavnaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Macao, China, 16–19 July 2019. – Macao, China: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012013. – EDN RKKCCW.*
4. *SSG32. Specific Safety Guide. Protection of the Public against Exposure Indoors due to Radon and Other Natural Sources of Radiation. – Vienna: IAEA, 2015. – 112 p.*
5. *Review of the IAEA recommendations on protection against exposure to indoor radon / I. V. Yarmoshenko, G. P. Malinovsky, A. V. Vasilyev, M. B. Жуковский // ANRI. – 2015. – № 4(83). – P. 22–28.*
6. *Radiation safety standards. SanPiN 2.6.1.2523-09 (NRB-99/2009): Resolution No. 47 dated 07.07.2009 of the Chief medical officer of the Russian Federation.*
7. *Influence of Geogenic and Anthropogenic Factors on Indoor Radon Entry and Accumulation in the Techa River Region / I. V. Yarmoshenko, A. V. Vasilyev, G. P. Malinovsky, A. A. Seleznev // ANRI. – 2017. – № 3(90). – P. 62–70.*