

Определение среднегодовой объемной активности радона на рабочих местах

А.И. Андреев, профессор, д-р техн. наук,
К.В. Пупатенко, доцент, канд. техн. наук

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск

e-mail: bgd@festu.khv.ru

Ключевые слова:

радиационная безопасность,
радиационный контроль,
объемная активность,
радон.

Радиационная безопасность при воздействии природных источников излучения, в частности радона, обеспечивается путем контроля за величиной среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности дочерних продуктов радона и торона в воздухе производственных помещений. Определение среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона по данным однократных измерений объемной активности радона может привести к существенным ошибкам в оценке радиационной обстановки на рабочих местах. В статье анализируются методики проведения радиационного контроля на соответствие гигиеническим требованиям по показателям радиационной безопасности производственных зданий. Рассматриваются результаты экспериментальных исследований объемной активности радона в помещениях, где постоянно находятся люди. Даны рекомендации по определению фактических значений среднегодовой объемной активности радона и проведению периодических измерений объемной активности радона.

1. Введение

В соответствии с действующими нормативами [1] при аттестации рабочих мест по условиям труда оценке подлежат все имеющиеся на рабочем месте факторы производственной среды и труда, характерные для технологического процесса и оборудования, применяемых на данном рабочем месте. Например, при обращении с открытыми и закрытыми источниками ионизирующего излучения некоторые факторы могут оказывать неблагоприятное воздействие на состояние здоровья работников. Если уровень этого воздействия приводит к увеличению риска повреждения здоровья, то такие условия труда регламентируются как вредные [2].

Для обеспечения радиационной безопасности при облучении работников природными нуклидами, в частности радоном и продуктами его распада, ввод зданий и сооружений в эксплуатацию осуществляется с учётом уровня содержания радона в воздухе помещений. В дальнейшем при эксплуатации зданий и сооружений замеряется уровень содержания радона в воздухе помещений. При невозможности выполнения нормативов путем снижения уровня содержа-

ния радона в зданиях и сооружениях должен быть изменён характер их использования [3].

Но в некоторых случаях изменить характер использования сооружений нельзя. В [4] показано, что условия труда в Северомуйском тоннеле Восточно-Сибирской железной дороги характеризуются повышенной концентрацией радона в зоне дыхания, охлаждающим микроклиматом, шумом, физическими нагрузками, пылью. Главным вредным производственным фактором является радон в воздухе зоны дыхания работающих, который выделяется из радононасыщенных подземных вод. Большая протяженность тоннеля (свыше 15 км) и неэффективная работа вентиляционных систем приводит к тому, что концентрация радона многократно превышает нормативные величины. По результатам многолетних гигиенических наблюдений установлено, что превышение допустимой эквивалентной равновесной объемной активности радона (ЭРОА) в зоне дыхания рабочих, осуществляющих эксплуатацию тоннеля, составляет от 3,0 до 42,9 раза. Среднегодовая эффективная доза облучения составляет от 10 до 26,5 мЗв/год.

Кроме воды радон выделяется из грунта и строительных материалов. Выделение радона из грунта происходит неравномерно. Установлено, что эпизодически возникают интенсивные (залповые) выбросы радона, при которых объёмная активность радона (ОА) может превышать фоновую в сотни раз, а предельно допустимые уровни — в десятки раз [5].

Наличие в воздухе рабочей зоны природных источников излучения оказывает влияние на здоровье работников. Даже в том случае, если технологический процесс не связан с источниками ионизирующего излучения, но рабочее место находится ниже поверхности земли (в шахте, руднике, тоннеле, котловане), необходимо оценивать ионизирующее излучение природных источников. Если рабочие места находятся в зданиях, оценка радоновой опасности должна выполняться с учетом ранее проведенных измерений, указывающих на имеющееся превышение уровня природного ионизирующего излучения. Если такие измерения не проводились, возникает необходимость оценки ЭРОА радона при размещении рабочего места в потенциально опасных местах (подвальных или цокольных этажах зданий).

В настоящее время порядок проведения радиационного контроля на соответствие санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям по показателям радиационной безопасности производственных зданий и сооружений регламентируется [6]. Действующими нормативными документами по защите от природного облучения в производственных условиях вводятся ограничения по среднегодовому значению ЭРОА радона в воздухе зоны дыхания [7]. Допускается проводить оценку ЭРОА радона в воздухе по результатам измерения объёмной активности радона [6].

Поэтому важно знать достоверные значения ОА радона на рабочих местах. Данные исследования проводились с целью экспериментального определения среднегодовой ОА радона в помещениях, где постоянно находятся люди.

2. Экспериментальная часть

Оценка среднегодового значения ЭРОА изотопов радона в воздухе здания проводится по формуле, приведенной в [6]:

$$C_{\text{ср}} = [C_{\text{Rn}} + \Delta_{\text{Rn}} + 4,6 \cdot (C_{\text{Tn}} + \Delta_{\text{Tn}})] \cdot K(t, h, v). \quad (1)$$

Численное значение коэффициента K в формуле (1) зависит от температуры внутри и снаружи контролируемого помещения, от атмосферного давления, силы и направления ветра в период проведения измерений, а также от среднегодовых значений этих величин. Конкретные значения коэффициента имеют региональные особенности и зависят от периода года, когда проводятся измерения. Функциональные

зависимости региональных коэффициентов от перечисленных параметров определяются в рамках специального аналитического обобщения результатов проводимых обследований в совокупности со значениями влияющих факторов.

В соответствии с рассматриваемой методикой измерение ЭРОА изотопов радона следует проводить при наиболее высоком для данной местности барометрическом давлении и слабом ветре. Продолжительность измерения может составлять до 15 суток, причём наилучшим приближением к действительному среднегодовому значению ЭРОА изотопов радона является его среднее значение по данным двух интегральных измерений с экспозицией не менее двух месяцев каждое, выполненных в холодный и теплый периоды года. Общая продолжительность измерений должна составлять около 120 суток в год. Практическое применение методики вызывает существенные затруднения, так как требует длительного времени проведения измерений, обширной подготовительной работы по определению регионального коэффициента и предварительного изучения метеорологических параметров, характерных для данной местности.

Исследования динамики поступления радона в производственные помещения Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС) и экспериментальное определение в них ОА радона проводились в 2009–2012 гг. в двух помещениях (№ 3105 и 3008), расположенных на первом этаже второго учебного корпуса ДВГУПС. Расстояние между помещениями около 130 м. В соответствии с применяемой методикой измерения пробы воздуха отбирались в течение года раз в неделю последовательно в исследуемых помещениях. Продолжительность измерения отобранной пробы воздуха составляла 1 час. Сначала отбиралась проба воздуха в помещении № 3105, а через 1 час — в помещении № 3008. Для обеспечения единства условий проведения измерений отбор проб воздуха выполнялся, как правило, в одно и то же время в утренние часы (с 7.30 до 8.40) до прихода сотрудников университета на работу. Измерения ОА радона проводились с помощью радиометра радона РРА-01М-03, предназначенного для измерения ОА радона в воздухе жилых и рабочих помещений. Радиометр радона ежегодно проходил поверку в лаборатории измерительной техники. Типичное изменение ОА радона в исследуемых помещениях ДВГУПС показано на рис. 1.

Как видно на рисунке, значения ОА радона в исследуемых помещениях в течение календарного года изменялись в 5–9 раз от 24 Бк/м³ 27.06.2012 г. до 211 Бк/м³ 2.12.2012 г. в № 3105 и от 31 Бк/м³ 11.07.2012 г. до 155 Бк/м³ 29.07.2012 г. в № 3008. Максимальное значение ОА радона в первом случае приходится на зим-

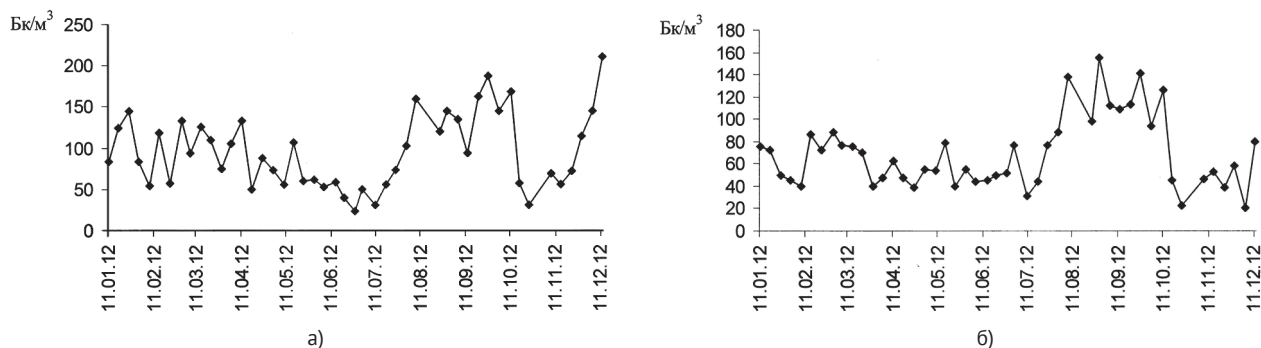


Рис. 1. Изменение ОА радона в 2012 г.: а) помещение № 3105; б) помещение № 3008

ний период, во втором — на летний. Таким образом, оценка среднегодовой ЭРОА радона в воздухе помещений по данным однократных измерений может привести к существенным ошибкам.

3. Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Так как в производственных условиях нормируемым параметром является ЭРОА_{Rn}, был произведён пересчёт измеренной ОА радона в ЭРОА радона. В соответствии с рекомендациями, приведенными в [6], пересчёт осуществлялся по формуле:

$$ЭРОА_{Rn} = F_{Rn} \cdot ОА_{Rn} \quad (2)$$

В связи с отсутствием инструментальных данных значение F_{Rn} при расчётах принималось равным 0,5. Результаты расчётов ЭРОА_{Rn}, выполненных по приведенной в [6] методике с использованием экспериментальных данных по ОА радона, полученных авторами в 2009–2012 гг., представлены в табл. 1.

Таблица 1

Эквивалентная равновесная объёмная активность радона					
Год измерений	Летний период	Зимний период	Среднее. Зимний и летний периоды	Среднегодовое значение по данным ежемесячных наблюдений	Среднегодовое значение по данным еженедельных наблюдений
Помещение № 3105					
2009	69 ± 21	104 ± 31	87 ± 26	39 ± 12	44 ± 13
2010	19 ± 6	26 ± 8	23 ± 7	32 ± 10	43 ± 13
2011	79 ± 24	36 ± 11	56 ± 17	44 ± 13	45 ± 14
2012	26 ± 8	106 ± 32	66 ± 20	53 ± 16	48 ± 14
Помещение № 3008					
2009	—	—	—	—	—
2010	18 ± 5	22 ± 7	20 ± 6	39 ± 12	34 ± 10
2011	47 ± 14	33 ± 20	40 ± 12	34 ± 10	29 ± 9
2012	22 ± 7	40 ± 12	31 ± 16	37 ± 11	35 ± 11

Примечание. В 2009 г. измерения ОА радона в помещении № 3008 не проводились.

Данные по летнему и зимнему периодам получены по результатам однократных измерений ОА радона в июле и декабре каждого года. Среднегодовое значение по данным ежемесячных наблюдений рассчитывалось как среднее по выборке из 12 измерений, по одному измерению ОА радона в месяц. Среднегодовое значение по данным еженедельных наблюдений рассчитывалось как среднее по выборке из еженедельных измерений ОА радона, по одному измерению в неделю. Число измерений ОА радона в год составляло от 43 до 50.

Для оценки точности и надёжности среднегодовых измерений ЭРОА радона по данным еженедельных наблюдений с доверительной вероятностью 0,95 были рассчитаны доверительные интервалы по формуле, приведенной в [8]:

$$\bar{x} - t_{\gamma} \cdot S / \sqrt{n} < a < \bar{x} + t_{\gamma} \cdot S / \sqrt{n} \quad (3)$$

Результаты расчёта представлены в табл. 2.

На рис. 2 приведены значения ЭРОА радона, рассчитанные по приведенной в [6] методике и по экспериментальным данным. Среднегодовые значения ЭРОА радона, рассчитанные по данным еженедельных наблюдений, показаны с относительной погрешностью 30%.

Как видно из рис. 2, среднегодовые значения ЭРОА радона, полученные по данным ежемесячных наблюдений, находятся в пределах доверительного интервала, рассчитанного по выборке из еженедель-

Таблица 2

Год	Доверительный интервал эквивалентной равновесной объёмной активности радона	
	Помещение № 3105	Помещение № 3008
2009	28 < a < 60	—
2010	29 < a < 57	11 < a < 57
2011	36 < a < 54	22 < a < 36
2012	41 < a < 55	31 < a < 39

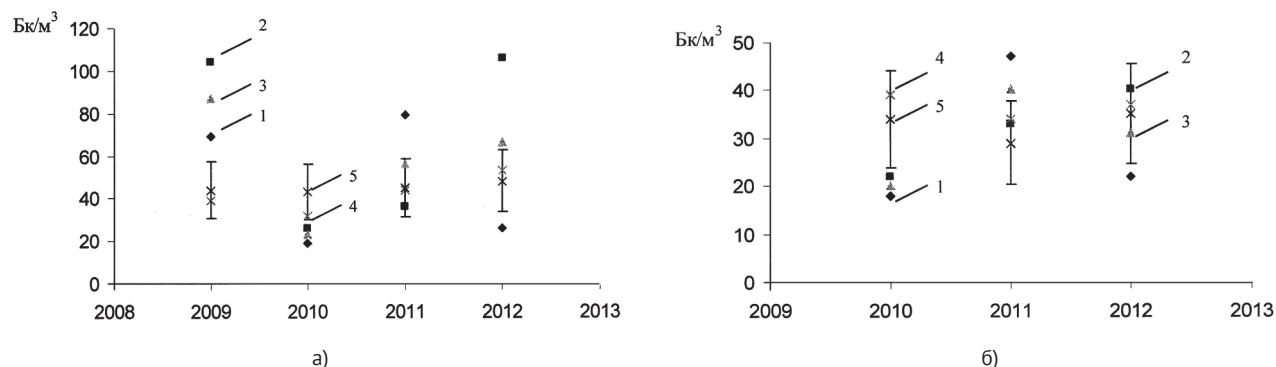


Рис. 2. Эквивалентная равновесная объёмная активность радона, рассчитанная по методическим указаниям и по экспериментальным данным: а) помещение № 3105; б) помещение № 3008. 1 – летний период; 2 – зимний период; 3 – среднее, зимний и летний периоды; 4 – среднегодовое значение по данным ежемесячных наблюдений; 5 – среднегодовое значение по данным еженедельных наблюдений

ных наблюдений, и не выходят за пределы относительной погрешности 30%.

Значения среднегодовой ЭРОА радона, полученные по данным однократных измерений ОА радона и рассчитанные по методике [6], как правило, находятся вне границ доверительного интервала. Так было в 2009, 2010, 2012 гг. (рис. 2а) и 2010, 2011 гг. (рис. 2б).

Наибольшие погрешности в расчёте среднегодовой ЭРОА радона получены по результатам однократных измерений ОА радона в летний период. Все значения среднегодовой ЭРОА радона, рассчитанные по результатам многолетних измерений в двух различных помещениях в летний период, выходят за границы доверительных интервалов.

Практически такая же картина наблюдается при расчёте среднегодовой ЭРОА радона, полученной по данным экспериментальных наблюдений ОА радона в зимний период.

Необходимо отметить, что ряд значений среднегодовой ЭРОА радона, рассчитанных по результатам однократных измерений ОА радона в зимний период, входит в доверительный интервал. Так было в 2011 г. (рис. 2а) и 2011, 2012 гг. (рис. 2б). Однако существенные отклонения среднегодовой ЭРОА радона от выборочной средней в 2009 и 2012 гг. (рис. 2а) и 2010 г. (рис. 2б) не позволяют сделать вывод о снижении погрешности оценки среднегодовой ЭРОА радона по результатам измерений ОА радона в зимний период по сравнению с летним. Среднегодовое значение ЭРОА радона, рассчитанное как среднеарифметическое по результатам однократных измерений ОА радона в зимний и летний периоды, не приводит к увеличению точности при определении этого параметра.

4. Заключение

В соответствии с действующей методикой измерение ЭРОА изотопов радона следует проводить при наиболее высоком для данной местности барометри-

ческом давлении и слабом ветре. Продолжительность измерения может составлять до 15 суток, причём наилучшим приближением к действительному среднегодовому значению ЭРОА изотопов радона является его среднее значение по данным двух интегральных измерений с экспозицией не менее 2 месяцев каждое, выполненных в холодный и теплый периоды года. Общая продолжительность измерений должна составлять около 120 суток в год. Практика аттестации рабочих мест показала, что процесс измерений и оценок условий труда непосредственно на рабочих местах занимает в среднем около недели.

Расчёт среднегодовой ЭРОА радона в воздухе производственных помещения по данным однократных измерений ОА радона может привести к существенным ошибкам при определении действительного значения среднегодовой ЭРОА радона.

Предложенный метод определения среднегодового значения ЭРОА по результатам однократных ежемесячных измерений ОА радона, выполненных в течение года, с доверительной вероятностью 0,95 позволяет рассчитать действительное среднегодовое значение ЭРОА радона, сократить продолжительность измерений и обоснованно проводить мероприятия по защите работников от природного излучения в производственных условиях.

Обозначения

- a – математическое ожидание по выборочной средней;
- C_{Cr} – среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона в воздухе здания, Bq/m^3 ;
- C_{Rn} – измеренное значение ЭРОА радона в воздухе, Bq/m^3 ;
- C_{Tn} – измеренное значение ЭРОА торона в воздухе, Bq/m^3 ;
- \bar{x} – среднее арифметическое результатов отдельных измерений;

F_{Rn} — коэффициент, характеризующий сдвиг радиоактивного равновесия и его короткоживущими дочерними продуктами распада в воздухе;
 K — региональный коэффициент;
 n — число измерений;
 S — среднеквадратическое отклонение;

$t_\gamma = t(\gamma, n)$;
 Δ_{Rn} — абсолютная погрешность определения ЭРОА радона в воздухе;
 Δ_{Tn} — абсолютная погрешность определения ЭРОА торона в воздухе;
 γ — надёжность оценки измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации (Минздравсоцразвития России) от 26 апреля 2011 г. № 342н г. Москва. «Об утверждении Порядка проведения аттестации рабочих мест по условиям труда».
2. Руководство Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.
3. Федеральный закон от 09 января 1996 г. № 3-ФЗ (ред. от 19 июля 2011 г.) «О радиационной безопасности населения».
4. Куренкова Г.В., Павлова Н.И., Борейко А.Н., Лемешевская Е.П. Гигиеническая оценка факторов производственной среды и трудового процесса рабочих, обслуживающих подземную часть Северомуйского тоннеля // Сибирский медицинский журнал. — 2009. — № 2. — С. 83–85.
5. Фролов А.В. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда: Учеб. пособие для вузов / А.В. Фролов, Т.Н. Бакаева; под общ. ред. А.В. Фролова. — Ростов н/Д.: Феникс, 2005.
6. Методические указания МУ 2.6.1.2838-11. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности.
7. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. НРБ 99/2009.
8. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. — 10-е изд., стер. — М.: Высшая школа, 2004.

Determination of Radon's Average Annual Volume Activity on Workplaces

A.I. Andreev, Doctor of Engineering, Professor, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk

K.V. Pupatenko, Ph.D. of Engineering, Associate Professor, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk

Radiation safety under the influence of radiation's natural sources, in particular radon, is provided by control related to a value of average annual equivalent equilibrium volume activity of radon and thoron affiliated products in facilities' air. Definition of radon's average annual equivalent equilibrium volume activity according to single measurements of radon's volume activity may lead to essential mistakes in assessment related to radiation situation on workplaces. Radiation control techniques carrying out on compliance to hygienic requirements on indicators of facilities' radiation safety are analyzed in this paper. Results of experimental studies related to radon's volume activity in rooms with permanent human presence are considered. Recommendations on determination of actual values of radon's average annual volume activity and of radon's volume activity measurements frequency carrying out are given.

Keywords: radiation safety, radiation control, volume activity, radon.

Государственный доклад

«О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году»

15 января 2014 года на сайте Минприроды России опубликован Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году».
(<http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=132221>)

Проект федерального закона «Об экологическом аудите, экологической аудиторской деятельности и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

22 января 2014 года на сайте Минприроды России опубликован Проект федерального закона «Об экологическом аудите, экологической аудиторской деятельности и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
(<http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=132262>)