

**ПОИСК И АНАЛИЗ ПРОЦЕССА
ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗОТОПОВ
РАДОНА В РАЗЛИЧНЫХ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ**

**ТАҲЛИЛ ВА БАҲОДИҲИИ
РАВАНДИ АФКАНИШОТИ
ИЗОТОПҲОИ РАДОН ДАР МУҲИТИ
ЭКОЛОГИИ ГУНОГУН**

**SEARCH AND ANALYSIS OF
ISOTOPE RADIATION PROCESS
RADON IN VARIOUS ECOLOGICAL
ENVIRONMENTS**

Тиллобоев Хакимдҷон Ибрагимович, к.х.н., доцент кафедры органической и прикладной химии; **Бободҷонова Зиннатдҷон Хакимдҷонова**, к.х.н., преподаватель кафедры органической и прикладной химии ГОУ «ХГУ имени акад.Б.Гафурова» (Таджикистан, Худжанд)

Тиллобоев Хакимдҷон Ибрагимович, н.и.х. дотсенти кафедраи химияи органикӣ ва амалӣ; **Бобочонова Зиннатҷон Хакимҷонова**, н.и.х., муаллими кафедраи химияи органикӣ ва амалии МДТ «ДДХ ба номи акад.Б. Гафуров» (Тоҷикистон, Хучанд)

Tilloboev Hakimjon Ibragimovich, Associate Professor of the Department of Organic and Applied Chemistry; **Bobojonova Zinnatjon Hakimjonovna**, senior lecturer of the SEI "KhSU named after acad.B.Gafurov" (Tajikistan, Khujand),

E-mail: tilloboev-2006@mail.ru

Ключевые слова: радон, концентрация, эксхалация, радиация, эманация, расчет, модель.

В статье рассматриваются концентрация радона в слоях нейтрального грунта, что зависит от интенсивности миграции радона и определяются его гранулометрическим составом. Показано, что преимущественно сильное воздействие на миграцию радона наблюдается в наиболее крупных фракциях почв и сравнительно в меньших количествах. Доказано, что интенсивность миграции радона зависит от состава гранулометрической модели, снижение интенсивности миграции наблюдается в почвах. Для этого грунты местного происхождения представлены небольшими порциями для создания модели. Экспериментально и расчетом подтверждено, что в рассматриваемом слое во всех трех моделях равновесная концентрация радона в эманующем слое устанавливается до десяти дней с начала моделирования.

Калидвожаҳо: радон, консентратсия, бухоришавӣ, радиатсия, эманатсия, ҳисобкунӣ, модел. Дар мақола консентратсияи радон дар қабатҳои нейтралӣи хок вобаста аз шиддатнокӣи муҳочирати радон, бо таркиби гранулометрии он баррасӣ карда шудааст. Муайян карда шудааст, ки таъсири беитар ба муҳочирати радон дар фраксияҳои калонтарини хок мушоҳида шуда, миқдори камтарини он ба назар гирифта мешавад. Исбот шудааст, ки шиддатнокӣи муҳочирати радон ба таркиби гранулометрӣ ва сохтори модел вобаста буда, шиддатнокӣи муҳочиратро дар хок наметгардонад. Бо ин мақсад, хокҳои пайдоиши маҳаллӣ бо ҳиссаҳои хурд барои сохтани модел пешниҳод карда мешаванд. Дар таҷриба ва ҳисобҳо тасдиқ карда шудааст, ки консентратсияи мувозинати радон дар қабати баррасишаванда дар ҳар се модел консентратсияи мувозинат дар қабати баромад дар давоми даҳ рӯз аз оғози он муқаррар карда мешавад.

Keywords: radon, concentration, exhalation, radiation, emanation, calculation, model

The article dwells on the concentration of radon in the layers of neutral soil depending on the intensity of radon migration, which is determined by its granulometric composition. It is shown that a predominantly strong impact on radon migration is observed in the largest fractions of soils and it is considered in the smallest quantities. It is proven that the intensity of radon migration depends on the composition of the granulometric model, reducing the intensity of migration in soils. For this, soils of local origin are presented in small portions to create a model. Experimentally and by calculation it is confirmed that the establishment of equilibrium radon concentration in the layer under consideration in all three models, the equilibrium concentration in the emanation layer is established up to ten days from the beginning of the simulation.

Производство урана и его растущая индустрия требуют срочного внимания к опасностям, которые могут возникнуть в результате добычи, переработки и хранения этого жизненно

важного металла, включая потенциальное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

Из хвостохранилища постоянно выделяются радиационно-конденсирующийся воздух и тяжелый газ. Радон попадает в атмосферу при процессе диффузии атмосферной воды, которую получают при пропускании воды из хвостохранилища или при утечке грунтовых или шахтных вод. Количество радона в атмосферном воздухе над хвостохранилищем зависит от скорости испарения и периода полураспада радона [1].

Выбросы радона от горных пород составляют более 50% радонового эквивалента естественного радиоактивного фона населения и более 80% у работников, работающих с радиоактивным сырьем, отходами заводов и другими отходами химической промышленности. Радон представляет собой серьезную проблему для населенных пунктов, находящихся в зоне влияния хвостохранилищ радиационно опасных отходов [2].

Наше исследование посвящено измерениям радона и сравнению годовых расчетов с целью выявления сходства полученных результатов и обработки информации об установлении активности выброса радона с поверхности Дигмайского хвостохранилища.

Методика отработана путем проведения циклических измерений аэрозольного фильтра с 1-й по 30-ю минуту отбора проб аэрозолей и плотности потока радона, измеренной в секундах. Это также позволило исключить влияние таких параметров, как скорость откачки фильтра, эффективность регистрации или место отбора проб, на конечный результат. Отбор аэрозольных проб осуществлялся по периметру хвостохранилища с помощью прибора РРА-09М с учетом метеорологических данных и розы ветров. Абсолютные измерения проводились с использованием современного жидкостного сцинтилляционного спектрометра РРА-09М, который прошел калибровочное испытание [3].

Среда присутствия радона исследована в ходе экспериментов, проведенных на Дигмайском хвостохранилище ГП «Востокредмет». В настоящее время поверхность данного хвостохранилища открыта и оно считается действующим. Вследствие радиоактивного распада радон постоянно просачивается сквозь хвостохранилище. Использование коэффициентов диффузии и устоявшихся закономерностей перехода радона в различных материалах позволило использовать «лёссовидные суглинки» [4]. Этот материал доступен и имеет длительную гарантию использования для захоронения. Чтобы исследовать наиболее доступные и простые в использовании почвы местного происхождения на предмет выделения радона, мы построили симуляцию для анализа этого процесса, поскольку он, скорее всего, будет легко доступен. Чтобы имитировать выделение радона, мы взяли образцы радиоактивных отходов и провели эксперимент с процессом, включающим в себя отделение измеримого количества радиоактивных отходов, а затем имитацию испарения радона с помощью модели эксхалации радона.

Наиболее экономичным и доступным способом изучения эксхалации радона через почвы местного происхождения был разработан метод моделирования и использована модель для изучения процесса миграции радона. Образцы отходов были собраны и проверены на выделение радона для моделирования процесса и получение результатов процесса моделирования. К одному из важнейших компонентов процесса миграции радона относится диффузия, т.е. механическое движение фазы к конвективной. Циркуляция – это основной механизм распространения эманаций в сторону уменьшения концентрации, непосредственной диффузией. Коэффициент диффузии радона через различные материалы обычно определяется путем процесса моделирования через различные среды. Основные свойства процесса эманации изотопов радона приведены в табл.1.

^{220}Rn и ^{219}Rn имеют очень короткий период полураспада, из чего видно, что их удаление из объекта незначительно по сравнению с вкладом на объект, тогда как ^{222}Rn представляет собой первичные экологические риски, связанные с выбросами долгоживущих продуктов распада в радиоактивных отходах.

Таблица №1. Основные свойства радиоактивных эманаций изотопов радона

Эманация	Постоянный распад	Время практического и полного распада	Миграция в газовой фазе	Миграция в природных водах	Нормальное содержание в почвенном воздухе, эманации	Аномальные содержания в почвенном воздухе, эманации
Радон (^{222}Rn)	0,1822 дн ⁻¹	38 дней	от нескольких см до 8-10 м	до сотен метров	от единиц до десятков	от $n \cdot 10^1$ до $n \cdot 10^3$
Торон (^{220}Rn)	0,0127 сек ⁻¹	9 мин.	от нескольких до десятков см.	до нескольких метров	то же	то же
Актинон (^{219}Rn)	0,1767 сек ⁻¹	38 сек.	от 0,01 мм до нескольких см	десятки см	0,1-2,0	единицы, редко более 10

Примечание: 1 эман = 10^{-10} Ки/л = 3,7 Бк/л

Как видно из табл. 1, торон (^{220}Rn) и актинон (^{219}Rn) имеют очень короткий период полураспада, а радон-222 представляет наиболее опасные последствия. Результаты замеров выброса радона, плотности потока, объемной активности и эквивалентной равновесной объемной активности радона с поверхности Дигмайского хвостохранилища представлены в табл.2.

Таблица №2. Результаты замеров выброса радона с поверхности Дигмайского хвостохранилища

№	ППР, Бк/м ² *с	ОАР, Бк/м ³	ЭРОА, радона Бк/м ³	Короткоживущие продукты распада ^{222}Rn , Бк/м ³		
				RaA (^{218}Po)	RaB (^{214}Pb)	RaC (^{214}Bi)
1	5,27	682	10,9	49,2	6,3	6,5
2	6,21	462	45,4	261,5	36,4	2,1
3	12,6	525	17,2	97,8	13,34	1,9
4	16,4	422	55,7	265,9	33,56	34,5
5	5,85	480	27,37	44,04	17,0	71,85
6	16,2 3	425	21,38	42,3	19,0	44,12
7	12,6 7	483	53,03	130,2	51,18	33,02
8	16,4 5	450	81,22	527,15	42,34	10,48
9	16,8 8	425	106,7	800,6	43,8	19,0
10	11,2 7	457	49,78	109,2	48,04	33,63
11	11,4 2	627	16,72	120,0	24,5	10,51
12	6,15	342	82,02	534,4	43,44	11,15
13	5,29	680	10,8	49,2	6,3	6,6
14	6,33	443	41,8	253,1	35,5	2,2
Сре дн.	8,16					

$8,15 \cdot 36 \cdot 10^2 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 90 \cdot 10^4 \sim 231,32 \cdot 10^{12}$ Бк/г ~ 6260 Ки/г

На основе анализа плотности потока радона был рассчитан годовой выброс радона, а также данные табл.2, включающей участки равного распределения по поверхности хвостохранилища, и рассчитанные по замерам, проведенным в контрольных точках. Расчетная скорость

составляет 6260 Ки/год. Результаты замеров показали, что объёмная активность ^{222}Rn в пробах воздуха находится в пределах от 300 Бк/м³ до 700 Бк/м³.

Коэффициент диффузии D является основным параметром процесса. В статье Молчанова описывается, как диффузия радона распространяется по разным слоям, а для выявления распределения диффузионного процесса, который может использоваться для каждого слоя, дифференциальное уравнение показано в следующем виде[4]:

$$D \frac{d^2 N}{dx^2} - \lambda N = a \quad (1)$$

где: D – коэффициент, кажущийся диффузией,

N – концентрация радона ^{222}Rn (с⁻¹),

λ – постоянный распад радона ^{222}Rn ,

a – количество ^{222}Rn , выделяющееся с 1см³ породы, в уравнении (1) предполагается, что для оси x будет направляться снизу вверх.

Данные расчеты проведены на основе экспериментальных исследований со стороны профессора кафедры математического анализа и теоретической функции ГОУ «Худжандский госуниверситет им акад. Б.Гафурова» д.ф.-м.н. Байзаевым С.Т. Определены параметры процесса диффузии и коэффициент диффузии с использованием параметров экспериментальных данных и математических параметров процесса диффузии. В каждом слое коэффициент при второй производной в уравнении (1) будет постоянным и принимает конкретные значения. Правая часть уравнения (1) во всех слоях является одинаковой. Уравнение (1) имеет постоянное решение:

$$N = N_0 = \frac{a}{\lambda}$$

Из этого находим общее решение однородного уравнения:

$$D \frac{d^2 N}{dx^2} - \lambda N = 0$$

Отсюда сопоставим характеристическое уравнение:

$$DK^2 - \lambda = 0 \text{ корни, которого будут равны } K_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{\lambda}{D}}$$

Тогда (см. справ. Корн Т.) общее решение однородного уравнения может иметь следующий вид: $N(x) = A_1 e^{K_1 x} + A_2 e^{K_2 x}$

Поэтому для общего решения неоднородного уравнения (1) используется формула:

$$N(x) = A_1 e^{K_1 x} + A_2 e^{K_2 x} + N_0 \quad (2)$$

где A_1, A_2 – значения постоянные, которые можно найти для каждого из слоя модели, используя для этого граничные условия.

Рассмотрим первый слой модели.

На основе фактических данных для решения каждого слоя в граничные условиях, которое имеют следующий вид:

$$N(0) = 1650 * 10^{-6}, \quad (3)$$

$$N(20) = 1100 * 10^{-6}, \quad (4)$$

$$\text{далее } D = 33.5 * 10^{-4}; \quad a = 14.785 * 10^{-6}; \quad N_0 = -\frac{a}{\lambda} = -7.05$$

$$K_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{2,1 * 10^{-6}}{33,5}} = \pm 0.24 * 10^{-3};$$

Общее решение данного уравнения (1) имеет вид:

$$N(x) = A_1 e^{0,24 * 10^{-3} x} + A_2 e^{-0,24 * 10^{-3} x} - 7.04; \quad (5)$$

Используем граничные условия (3,4)

$$N(0) = A_1 + A_2 - 7.04 = 1650 * 10^{-6}$$

$$N(20) = A_1 e^{0,24 * 10^{-3} * 20} + A_2 e^{-0,24 * 10^{-3} * 20} - 7.05 = 1100 * 10^{-6}; \quad (6)$$

Отсюда для определения постоянных A_1, A_2 получаем систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} A_1 + A_2 = 7.0419 \\ 1.004A_1 + 0.994A_2 = 7.052 \end{cases}$$

Решаем данную систему по правилу Крамера, что будет иметь следующий вид [5].

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1.004 & 0.994 \end{vmatrix} = 0.994 - 1.004 = -0.01;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 7.0417 & 1 \\ 7.051 & 0.995 \end{vmatrix} = 7.0065 - 7.051 = -0.0444$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1 & 7.0417 \\ 1.005 & 7.051 \end{vmatrix} = 7.051 - 7.0769 = -0.0258$$

По формуле Крамера теперь находим:

$$A_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-0.0445}{-0.01} = 4.45$$

$$A_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-0.0259}{-0.01} = 2.85$$

Подставляя данные значения A_1 и A_2 в формулу (5), находим решения задачи в первом слое:

$$N(x) = 4.45e^{0.25 \cdot 10^{-3}x} + 2.85e^{-0.25 \cdot 10^{-3}x} - 7.04; \quad 0 \leq x \leq 20$$

Рассмотрим второй слой модуля.

На основе фактических значений для этого слоя граничные условия имеют следующий вид:

$$N(20) = 1100 \cdot 10^{-6}, \quad (7)$$

$$N(40) = 745 \cdot 10^{-6}, \quad (8)$$

$$\text{далее } D = 52.3; \quad a = 14.783 \cdot 10^{-6}; \quad N_0 = -\frac{a}{\lambda} = -7.04$$

$$K_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{2.1 \cdot 10^{-6}}{52.3}} = \pm 0.2 \cdot 10^{-3};$$

Общее решение данного уравнения, что имеет следующий вид:

$$N(x) = A_1 e^{0.2 \cdot 10^{-3}x} + A_2 e^{-0.2 \cdot 10^{-3}x} - 7.04; \quad (9)$$

Используем для этого граничные условия (7.8)

$$N(20) = A_1 e^{0.2 \cdot 10^{-3} \cdot 20} + A_2 e^{-0.2 \cdot 10^{-3} \cdot 20} - 7.04 = 1100 \cdot 10^{-6}$$

$$N(40) = A_1 e^{0.2 \cdot 10^{-3} \cdot 40} + A_2 e^{-0.25 \cdot 10^{-3} \cdot 40} - 7.04 = 745 \cdot 10^{-6};$$

Отсюда для определения постоянных значений A_1, A_2 получаем систему линейных алгебраических уравнений данных:

$$\begin{cases} 1.004A_1 + 0.996A_2 = 7.0410 \\ 1.008A_1 + 0.992A_2 = 7.0406 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1.004A_1 + 0.996A_2 = 7.0410 \\ 1.008A_1 + 0.992A_2 = 7.0406 \end{cases}$$

Решаем эту систему по следующему правилу Крамера [5].

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1.004 & 0.996 \\ 1.008 & 0.992 \end{vmatrix} = 0.9959 - 1.0039 = -0.009;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 7.0411 & 0.996 \\ 7.0407 & 0.992 \end{vmatrix} = 7.0129 - 7.0125 = 0.0005$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1.004 & 7.0411 \\ 1.008 & 7.0407 \end{vmatrix} = 7.0688 - 7.0974 = -0.0285$$

По формуле Крамера находим значения:

$$A_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-0.0004}{-0.0008} = 0.5$$

$$A_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-0.0286}{-0.0008} = 35.75$$

Подставляя данные значения A_1 и A_2 в формулу (9), находим решения задачи значения в первом слое модели:

$$N(x) = -0.5e^{0.2 \cdot 10^{-3}x} + 35.75e^{-0.2 \cdot 10^{-3}x} - 7.05; \quad 20 \leq x \leq 40$$

Рассмотрим значение третьего слоя.

На основе фактических данных для каждого слоя значения граничных условий имеет следующий вид:

$$N(40) = 745 \cdot 10^{-6}, \quad (9)$$

$$N(60) = 332 \cdot 10^{-6}, \quad (10) \text{ контакт слоя с атмосферой!}$$

$$\text{далее значения } D = 13.1; \quad a = 14.784 \cdot 10^{-6}; \quad N_0 = -\frac{a}{\lambda} = -7.05;$$

Общее решение имеет следующий вид:

$$N(x) = A_1 e^{0.4 \cdot 10^{-3}x} + A_2 e^{-0.4 \cdot 10^{-3}x} - 7.04; \quad (11)$$

Используем значения граничных условий (3,4)

$$N(40) = A_1 e^{0.4 \cdot 10^{-3} \cdot 40} + A_2 e^{-0.4 \cdot 10^{-3} \cdot 40} - 7.04 = 745 \cdot 10^{-6}$$

$$N(60) = A_1 e^{0.4 \cdot 10^{-3} \cdot 60} + A_2 e^{-0.4 \cdot 10^{-3} \cdot 60} - 7.04 = 332 \cdot 10^{-6};$$

Отсюда для определения значений постоянных A_1, A_2 получаем систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} 1.016A_1 + 0.984A_2 = 7.0412 \\ 1.024A_1 + 0.976A_2 = 7.0408 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1.016A_1 + 0.984A_2 = 7.0412 \\ 1.024A_1 + 0.976A_2 = 7.0408 \end{cases}$$

Решаем эту систему по правилу Крамера:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1.016 & 0.984 \\ 1.024 & 0.976 \end{vmatrix} = 0.9916 - 1.0076 = -0.016;$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 7.0411 & 0.984 \\ 7.0407 & 0.976 \end{vmatrix} = 6.8721 - 6.928 = -0.0568$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 1.016 & 7.0411 \\ 1.024 & 7.0407 \end{vmatrix} = 7.1533 - 7.2100 = -0.0566$$

По формуле Крамера находим:

$$A_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{-0.0569}{-0.016} = 3.56$$

$$A_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{-0.0567}{-0.016} = 3.55$$

Подставляя данные значения A_1 и A_2 в формулу (11), находим решения задачи в первом слое модели:

$$N(x) = -0.5e^{0.4 \cdot 10^{-3}x} + 35.74e^{-0.4 \cdot 10^{-3}x} - 7.04; 40 \leq x \leq 60$$

Учитывая установление равновесной концентрации радона в исследуемом слое и анализируя данные, полученные в процессе моделирования, видим, во всех трех моделях равновесная концентрация излучающего слоя определяется через 10 дней после начала моделирования, а равновесная концентрация излучающего слоя определяется точно на каждом этапе модельной конструкции. Модели для первого и второго слоев были созданы в течение 20 и 15 дней эксперимента, а измерение в первом и втором слоях проведено после полного динамического равновесия с третьим слоем для атмосферы. У модели III равновесные концентрации в слоях достигаются значительно позже, чем у первых двух моделей, и время определения равновесных концентраций в слоях неодинаково. Первый, второй и третий слои требуют в общей сложности 12-15 и 20-дневных периодов.

Используя пакет программ Ecolgo, сравниваем расчетные и экспериментальные данные, полученные в ходе моделирования, и используем сравнение экспериментальных и расчетных данных, представленных в табл.3.

Таблица №3. Экспериментальные и расчетные данные концентрации радона в слоях

Слой	Модель I, класс + 25 - 50			Модель II, класс + 10 - 25			Модель III, класс - 10		
	Конц. радона, Бк/м ³		Отн. расх. %	Конц. радона, Бк/м ³		От н. расх. %	Конц. радона, Бк/м ³		От н. расх. %
	экс п.	расче тн.		экс п.	расч етн.		экс п.	расч етн.	
Радиоакт. материал	569	589	2,4	611	625	1,3	615	625	1,2
Слой I	404	405	1,1	365	352	4,5	241	274	13,5
Слой II	386	322	17,4	231	215	10,5	156	142	10,7
Слой III	178	136	23,6	153	132	14,4	67	95	32,3

Сходимость 3 означает, что результаты удовлетворительные. Слой III третьей модели имел наибольшее расхождение – не более 32,4%. Как отмечалось, основное влияние на экспериментальные данные по слою III оказывают погодные условия во время измерений.

По результатам исследований и расчетов можно определить время, необходимое для выявления равновесной концентрации радона в нейтральных слоях почвы, и определять интенсивность миграции радона, с учетом влияния его гранулометрического состава в верхнем слое почвы. Радон имеет тенденцию двигаться наиболее интенсивно в почвах. Почвы, представленные значительными фракциями (Модель I), обладают наиболее высокими уровнями радоновой интенсивности, которые особенно преобладают в тех типах почв, где радон из-за большого пространства высокоактивен. Уменьшение фракции (модель II) получается, когда класс фракций, варьирующийся в зависимости от их относительного размера, уменьшается в размерах, класс, основанный на относительном размере. Мелкие фракции (Модель III) и (Модель IV) используются для построения почв с наименьшей интенсивностью миграции радона, в частности в почвах 3,4,5,7,8 и 3,5,6 соответственно, для почв с наибольшей концентрацией миграции радона.

Используя экспериментальное и математическое моделирование, можно сделать вывод:

- миграция радона в нейтральных средах различного гранулометрического состава происходит в слоях 1,2,3-от миграции радона, что можно смоделировать ее на основе математического моделирования и экспериментальных исследований.

-наиболее сильное воздействие на миграцию радона в наиболее крупных фракциях почв наблюдается в наименьших количествах;

-интенсивность миграции радона сильно связана с составом гранулометрической модели, снижение интенсивности миграции в почвах представлено небольшими порциями;

-гранулометрический состав нейтральных грунтов учитывается для захоронений хранилищ радиационных отходов, необходимо при планировании пунктов консервации или хранения ядерных отходов;

-сходимость экспериментальных данных и математических результатов программы «Эколого» с данными показывает, что исходные данные можно использовать для планирования консервации или захоронения хвостохранилищ, миграцию радона можно получить расчетным путем.

ЛИТЕРАТУРА:

- 1.Шумнова, Н.Н. Эманирование и диффузия радона в отдельностях горного массива и кусках отбитой руды. Материалы третьего отраслевого симпозиума по гигиене труда, радиационной безопасности / Н.Н. Шумнова – Санкт-Петербург. 1992. - С.55-56.
- 2.Крисюк, Э.М. Радиационный фон помещений/ Э.М.Крисюк.–М.:Энергоатомиздат. 1989. - 87 с.
- 3.Радиометр радона РРА-01М-03. Руководство по эксплуатации МГФК 412124.003 РЭ. – М.: Доза. 2004. - 45 с
- 4.Молчанов, А.М. Кинетическая модель иммунитета. Препринт Института прикладной математики АН СССР/А.М.Молчанов.–М.,1970.-31 с.
- 5.Корн,Г.А. Справочник по математике для научных работников и инженеров/Г.А.Корн, Т.М.Корн.–М.:Наука, 1974. - 232 с.

REFERENCES:

1. Shumnova, N.N. Emanation and diffusion of radon in rock mass fragments and pieces of broken ore. Materials of the third industry symposium on occupational health and radiation safety / N.N. Shumnova - St. Petersburg. 1992. - P.55-56.
2. Krisyuk, E.M. Radiation background of premises / E.M. Krisyuk - M: Energoatomizdat. 1989. - 87 p.
3. Radon radiometer RRA-01M-03. Operating manual MGFC 412124.003 RE. – M.: Dose. 2004. - 45 p
4. Molchanov, A.M. Kinetic model of immunity. Preprint of the Institute of Applied Mathematics of the USSR Academy of Sciences / A.M. Molchanov - M., 1970. - 31 p.
5. Korn, G.A. Handbook of mathematics for scientists and engineers / G.A. Korn, T.M. Korn - M.: Nauka, 1974. - 232 p.