

Уровни облучения природными источниками излучения работников подземных предприятий неурановой промышленности

¹Н.А. Королева, ¹И.П. Стамат, ²М.В. Терентьев, ³Р.П. Терентьев

¹ФГУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург

²ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Ленинградской области», Санкт-Петербург

³Филиал ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербурге», Санкт-Петербург

В статье приводится анализ результатов обследования радиационной обстановки на более чем 100 горнодобывающих предприятиях неурановой отрасли, выполненных Институтом за последние 20 лет. Рассмотрены закономерности формирования радиационной обстановки, приведена оценка эффективных доз облучения работников горнодобывающих предприятий природными источниками излучения в производственных условиях, приводится структура доз.

Ключевые слова: радон, короткоживущие дочерние продукты радона и торона, природные источники излучения, внешнее гамма-излучение, эффективная доза, структура доз облучения, радиационная обстановка.

Введение

Разведка и добыча полезных ископаемых на неурановых шахтах связана с воздействием на горняков не только рудничной пыли, токсичных газов, вибрации, шума, но и комплекса радиационных факторов. Изучение воздействия радиационных факторов на горняков началось после появления уранодобывающей промышленности [1]. В течение длительного времени считалось, что радиационному воздействию подвержены только горняки урановых рудников и лица, работающие с приборами, содержащими источники ионизирующего излучения, и только с 1961 г. было начато систематическое изучение радиационной обстановки на предприятиях, не связанных с добычей и переработкой радиоактивных полезных ископаемых [2, 3]. Состояние радиационной обстановки на зарубежных предприятиях и уровни облучения их персонала подробно описаны в докладах Научного комитета ООН по действию атомной радиации [4, 5]. Вопросам обеспечения радиационной безопасности горняков уделяет большое внимание Международная комиссия по радиологической защите, в публикациях которой [2, 3] освещены закономерности формирования радиационной обстановки на горных предприятиях, способы радиационной защиты персонала и др. В нашей стране первые исследования радиационного фактора на неурановых рудниках относятся к концу 60-х годов прошлого века. Однако систематические работы по обследованию радиационной обстановки на неурановых рудниках специалистами НИИРГ начали проводиться с 1983 г. За прошедший период более чем на 100 подземных предприятиях было проведено первичное, а на ряде из них и детальное радиационное обследование.

Закономерности формирования радиационной обстановки на подземных горных предприятиях

Радиационная обстановка при подземной разведке и добыче полезных ископаемых формируется за счет за-

ряжения рудничной атмосферы изотопами радона и продуктами их распада, а также долгоживущими природными радионуклидами уранового и ториевого рядов в витающей рудничной пыли. В некоторых случаях значительный вклад в облучение работников может давать гамма-излучение руд и вмещающих пород.

Источниками поступления изотопов радона в атмосферу подземных сооружений являются породы, содержащие в том или ином количестве радионуклиды рядов ^{238}U и ^{232}Th , а в некоторых случаях – шахтные воды, обогащенные ^{222}Rn . К факторам, влияющим на величину объемной активности (ОА) изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе подземных выработок, относятся: скорость эксхалляции изотопов радона из пород и руд, удельная активность ^{222}Rn в шахтных водах, интенсивность и способ проветривания выработок, способ их отработки и др.

Эксхалляция изотопов радона из пород и руд является сложным процессом. Она определяется эманированием радона из руд и пород с последующей диффузией его в атмосферу подземного сооружения. К увеличению интенсивности эксхалляции радона приводит большая пористость породы и наличие трещиноватости в ограждениях выработок. Увеличивает скорость поступления изотопов радона в атмосферу и дробление руды и пород. Поэтому в местах, где отбита и замагазинирована руда, где ведутся проходка и взрывные работы, могут наблюдаться высокие значения ОА изотопов радона и продуктов их распада. Значительно уменьшает скорость эксхалляции радона водная пленка на ограждениях подземных сооружений. ОА изотопов радона и продуктов их распада в значительной мере определяется наличием, схемой организации и интенсивностью вентиляции. Повышение давления (при нагнетательной вентиляции) приводит к уменьшению скорости эксхалляции, а его понижение (при всасывающем способе проветривания) – к ее увеличению. Влияние разности температур воздуха снаружи и внутри

сооружения на величину ОА изотопов радона хорошо изучено на примере неветилируемых пещер [6, 7, 8], в которых летом ОА продуктов распада радона в несколько раз выше, чем зимой, когда увеличение разности температур приводит к существенному возрастанию естественного воздухообмена и, соответственно, к уменьшению ОА радона. Причиной высокой ОА ^{222}Rn в воздухе выработок может служить повышенное содержание его в подземных водах, проходящих вблизи или выходящих в подземные сооружения.

Таким образом, основные источники поступления природных радионуклидов в атмосферу подземных сооружений и факторы, влияющие на величину их ОА, создают очень сложную, непрерывно меняющуюся во времени и зависящую от конкретного участка радиационную обстановку. Поэтому корректная оценка радиационной обстановки в подземных горных выработках может быть получена практически только путем прямых инструментальных измерений уровней радиационных факторов.

Аппаратура и методы измерений

При обследовании радиационной обстановки на рудниках для оценки доз облучения работников за счет природных источников ионизирующего излучения (ИИИ) проводились измерения ОА радона, дочерних продуктов радона (ДПР) и дочерних продуктов торона (ДПТ) в рудничном воздухе на постоянных рабочих местах и профессиональных маршрутах. Отбор проб проводился сразу после прихода на рабочее место, независимо от состояния вентиляции и характера проводимых работ. Приборы располагались вдали от стенок горных выработок (не менее 0,5 м) во избежание обдува их воздухом, поступающим из вентиляционных трубопроводов местного проветривания. Измерения ОА ДПР и ДПТ проводились с помощью радиометров аэрозолей (РВ-4, РГР-II, РГР-13). При этом отбор проб воздуха на фильтр АФА-РСП и измерение активности осевших на фильтр аэрозолей производилось по модифицированному методу Маркова [9]. При определении ОА радона в рудничной атмосфере отбор проб воздуха производился на колонки с древесным активированным углем с последующим измерением гамма-излучения дочерних продуктов адсорбированного на угле радона [10]. На угольных шахтах измерения ОА радона проводились методом отбора проб воздуха в сцинтилляционные камеры объемом 50 см³ с последующим измерением интенсивности альфа-излучения содержащегося в камере радона в равновесии с его дочерними продуктами с помощью прибора САС-Р-2М [11].

При детальном обследовании некоторых подземных предприятий, для оценки индивидуальных доз облучения горняков использовались индивидуальные пассивные диффузионные пробоотборники радона, позволяющие определить индивидуальные экспозиции по ДПР за смену [10], а также интегральные трековые радиометры радона [11].

Определение мощности дозы гамма-излучения на рабочих местах производилось с помощью широкодиапазонного носимого дозиметра ДРГ-01-Т1.

Для оценки доз внутреннего облучения работников за счет ингаляционного поступления природных радионуклидов (ПРН) с производственной пылью определялась удельная активность долгоживущих ПРН в рудах и породах на сцинтилляционном гамма-спектрометре СГС-200 [12].

Сведения о запыленности воздуха производственной зоны, времени работы в конкретных условиях и применении средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) принимались по данным соответствующих служб предприятий. На предприятиях, где данные по общей запыленности воздуха в зоне дыхания работников отсутствовали, она определялась весовым методом [13].

Годовая эффективная доза (ЭД) производственного облучения работников определялась как сумма доз внешнего (ЭД^{внешн}) и внутреннего (ЭД^{внутр}) облучения. Годовая (ЭД^{внешн}) оценивается на основе измеренных значений мощности дозы (Р_γ) гамма-излучения на высоте 1 м над поверхностью земли (пола) на рабочем месте и времени работы (Т_р) данного работника в течение года на этом месте или профмаршруте по формуле:

$$(\text{ЭД}^{\text{внешн}}) = k^e \cdot P_{\gamma} \cdot T_p, \text{ мЗв/год}, \quad (1)$$

где: k^e – дозовый коэффициент, значение которого принимается равным 0,0007 мЗв/мкЗв, если P_{γ} – мощность эквивалентной дозы в воздухе в мкЗв/ч. Если работник в течение года работает на нескольких участках, то годовая ЭД^{внешн} определялась как сумма ЭД^{внешн} полученных на каждом участке.

Годовая ЭД^{внутр} складывается из эффективной дозы внутреннего облучения за счет изотопов радона (ЭД^{Rn}) и дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления долгоживущих ПРН в организм (ЭД^{ПРН}).

ЭД^{Rn} определяется произведением эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона на время, которое обычно называют экспозицией (Бк·час/м³). В соответствии с 65 Публикацией МКРЗ, в производственных условиях экспозиции изотопами радона в 1 Бк·час/м³ соответствует эффективная доза облучения, равная $0,78 \cdot 10^{-5}$ мЗв при объеме дыхания 1,2 м³/час. Если известно среднее значение ЭРОА изотопов радона в воздухе $C_{\text{экр}}$ и время работы t , то ЭД^{Rn} рассчитывается по формуле:

$$\text{ЭД}^{\text{Rn}} = d \cdot C_{\text{экр}} \cdot t, \text{ мЗв}, \quad (2)$$

где значение дозового коэффициента $d = 0,78 \cdot 10^{-5}$ мЗв/(час·Бк/м³), а ЭРОА изотопов радона рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{экр}} = C_{\text{экр}}(\text{Rn}) + 4,6 \cdot C_{\text{экр}}(\text{Tn}), \text{ Бк/м}^3, \quad (3)$$

в которой $C_{\text{экр}}(\text{Rn})$ и $C_{\text{экр}}(\text{Tn})$ – средние за время t (час) значения ЭРОА радона и торона соответственно.

Эффективная доза внутреннего облучения работника за счет ингаляционного поступления с производственной пылью одного радионуклида на рабочем месте определяется выражением:

$$\text{ЭД}^{\text{ПРН}} = k_d \cdot C_n \cdot f \cdot V \cdot T, \text{ мЗв/год} \quad (4)$$

где значения дозового коэффициента k_d (Зв/Бк) для основных радионуклидов рядов урана и тория приведены в Приложении 1 [13]. В формуле (4) C_n – удельная активность радионуклидов в производственной пыли в Бк/кг, f – средняя запыленность воздуха в мг/м³, V – средняя скорость дыхания работающих (м³/час), а T – время нахождения в зоне с данной запыленностью в течение года в час/год.

При расчете доз облучения за счет ингаляции долгоживущих природных радионуклидов с пылью принимались следующие допущения:

– используемые технологические процессы (бурение, дробление руд и пород и пр.) не приводят к нарушению

радиоактивного равновесия между радионуклидами уранового и ториевого рядов;

– удельная активность ПРН рядов ^{238}U и ^{232}Th в пылящих продуктах (рудах и породах) и в витающей производственной пыли одинаковы.

Кроме того, выражение (4) справедливо для оценки доз облучения при постоянных значениях величин C_n , f и V . При переменных во времени значениях одного или нескольких параметров, время облучения разбивалось на несколько периодов, внутри каждого из которых их можно считать практически постоянными.

Результаты измерений и их обсуждение

Результаты измерений ОА изотопов радона, мощности дозы гамма-излучения и рассчитанные из полученных значений дозы природного облучения работников более чем 100 подземных предприятий представлены в табл. 1. С целью выявления закономерностей формирования радиационной обстановки на подземных предприятиях все обследованные шахты сгруппированы по виду добываемого в них минерального сырья.

рости дыхания $1,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ составляют: среднегодовое значение ЭРОА_{Rn} в воздухе зоны дыхания $310 \text{ Бк}/\text{м}^3$, ЭРОА_{Tn} – $68 \text{ Бк}/\text{м}^3$, среднегодовая мощность эффективной дозы гамма-излучения на рабочем месте – $2,5 \text{ мЗв}/\text{ч}$.

Из анализа приведенных в табл. 1 данных следует, что значения ЭРОА радона и торона на всех предприятиях изменяются в очень широком диапазоне и практически на всех обследованных предприятиях имеются рабочие места, где наблюдается превышение нормативного значения ЭРОА_{Rn}. Полученные значения ЭД облучения работников подземных предприятий также варьируют в широком диапазоне, и на большинстве обследованных предприятий имеются рабочие места, на которых ЭД работников превышают $5 \text{ мЗв}/\text{год}$. Особенно неблагоприятная радиационная обстановка имеет место на предприятиях по добыче вольфрама, олова, молибдена, ниобия и редких металлов, где даже средние значения ЭД составляют более $5 \text{ мЗв}/\text{год}$ (предел дозы для персонала группы А).

В табл. 2 приведена структура доз облучения работников обследованных предприятий.

Таблица 1

Уровни облучения природными источниками работников предприятий горнодобывающей отрасли (неурановая промышленность)

Добываемое сырье	\dot{H} мкР/ч	ЭРОА изотопов радона в воздухе, Бк/м ³		Эффективная доза, мЗв/год
		²²² Rn	²²⁰ Rn	
1. Вольфрам, олово	<u>15–54</u> 22	<u>15–5240</u> 1480	<u>1,1–15</u> 3,2	<u>1,1–88,0</u> 24,60
2. Молибден, ниобий и редкие металлы	<u>5–90</u> 41	< <u>10–5840</u> 855	< <u>1–21</u> 3,3	<u>0,42–101,0</u> 14,90
3. Медь, никель, цинк, свинец	<u>4–15</u> 9	< <u>10–5700</u> 154	< <u>1–6,1</u> 1,2	<u>0,20–95,0</u> 2,8
4. Пирит, магнетит	<u>10–35</u> 22	< <u>10–1880</u> 389	< <u>1–1,8</u> 1,1	<u>0,34–31,0</u> 6,8
5. Сидерит, флюорит, мусковит и др. минералы	<u>5–30</u> 17	< <u>10–3220</u> 339	< <u>1–20</u> 3,4	<u>0,34–53,4</u> 6,1
6. Золото	<u>6–38</u> 17	< <u>10–1970</u> 153	< <u>1–37</u> 3,3	<u>0,35–35,3</u> 3,05
7. Уголь, сланец	<u>3–16</u> 8	< <u>10–400</u> 23	< <u>1–4,2</u> 2,0	<u>0,2–6,8</u> 0,68
8. Огнеупорные глины	<u>17–25</u> 21	<u>20–900</u> 307	<u>8–17</u> 12	<u>1,1–15,3</u> 6,3
9. Дренажные шахты	<u>4–55</u> 11	< <u>10–1540</u> 148	< <u>1–16</u> 3,9	<u>0,32–26,8</u> 2,90

Примечание: в числителе указан диапазон значений показателей, в знаменателе – их среднее значение для отдельных групп предприятий (по виду добываемого сырья).

В соответствии с НРБ-99 [14] и СП 2.6.1.1292-03 [15], эффективная доза облучения природными источниками излучения всех работников, включая персонал, не должна превышать $5 \text{ мЗв}/\text{год}$ в производственных условиях (любые профессии и производства). Численные значения радиационных факторов, соответствующие при их монофакторном воздействии эффективной дозе $5 \text{ мЗв}/\text{год}$, при продолжительности работы $2000 \text{ ч}/\text{год}$, средней ско-

Из анализа данных табл. 2 следует, что ведущим радиационным фактором на неурановых шахтах являются дочерние продукты радона, вклад которых в суммарную эффективную дозу составляет до 99%. Исключением являются шахты по добыче золота, угля и сланца, где наибольший вклад в дозу облучения работников вносят долгоживущие природные радионуклиды, содержащиеся в витающей рудничной пыли. На золотодобывающих шахтах

Структура доз облучения работников подземных предприятий

Добываемое полезное ископаемое	Вклад в эффективную дозу, %			
	ДПР	ДПТ	гамма	ПРФ
1. Вольфрам, олово	<u>87–97</u>	< <u>1–4</u>	< <u>0,1–1</u>	–
	96	3	1	
2. Молибден, ниобий, редкие металлы	<u>84–95</u>	<u>4–15</u>	< <u>0,1–1</u>	< <u>0,1–0,2</u>
	91	8	1	0,2
3. Магнетит, пирит	<u>92–98</u>	<u>2–8</u>	–	–
	96	4		
4. Сидерит, флюорит, мусковит	<u>94–99</u>	< <u>1–4</u>	<u>1–4</u>	–
	96	2	2	
5. Огнеупорная глина	<u>53–85</u>	<u>7–14</u>	< <u>1–3</u>	<u>3–15</u>
	78	10	2	10
6. Золото	<u>0,2–98</u>	<u>0,1–66</u>	< <u>0,1–29</u>	<u>2–99</u>
	13	12	1	74
7. Сланец, уголь	<u>13–90</u>	< <u>0,1–47</u>	< <u>0,1–25</u>	<u>12–90</u>
	39	8	2	51
8. Дренажные шахты	<u>57–87</u>	<u>12–39</u>	<u>0,1–1</u>	<u>0,1–3</u>
	72	27	< 1	1

вклад пылерадиационного фактора (ПРФ) в суммарную ЭД составил в среднем 74% (от 2 до 99%), а на шахтах по добыче угля и сланцев – от 12 до 90% при среднем значении 51%. Обусловлено это главным образом высокой запыленностью рудничного воздуха на этих предприятиях. Любые процессы на предприятиях горнодобывающей отрасли сопровождаются разрушением руд и вмещающих горных пород, неизбежно вызывающим пылеобразование, интенсивность которого зависит от типа разрушаемых пород, характеристик применяемого технологического процесса и т.п.

Анализ фактических уровней радиационно опасных факторов подтверждает, что ни по типу добываемого сырья, ни по удельной активности ПРН в рудах и породах или уровню гамма-излучения в шахте практически невозможно прогнозировать уровни облучения работников подземных предприятий. Детальное исследование процессов формирования радиационной обстановки на ряде подземных сооружений позволило в каждом конкретном случае выявить источники и причины возникновения высоких уровней природного облучения работников и разработать комплекс технических мероприятий по снижению доз их облучения. Проведение рекомендованных защитных мероприятий на ряде предприятий позволило снизить индивидуальные дозы облучения шахтеров в 3–11 раз [16].

Основными техническими приемами, посредством которых можно регулировать уровни облучения работников за счет радона и его дочерних продуктов в рудниках являются: вентиляция и очистка воздуха, изоляция источников поступления радона в атмосферу горных выработок, использование СИЗОД для защиты органов дыхания и чередование рабочих мест. Наиболее эффективным средством, позволяющим снизить уровни облучения за счет радона и ДПР, является оптимизация системы вентиляции. Предпочтительным является нагнетательный способ проветривания, при котором в объеме рудника или отдельного участка ведения работ создается избыточное по отношению к массиву руд и пород давление, что уменьшает вынос радона в

рудничную атмосферу. Схема распределения воздуха в шахтной сети должна обеспечивать достаточные объемы и скорость подачи чистого воздуха на рабочие места. Следующим по эффективности является изоляция источников поступления радона в рудничную атмосферу. Этот вид регулирования облучения включает в себя изоляцию герметичными (радононепроницаемыми) перемычками заброшенных выработок, нанесение на породу изолирующих покрытий и т.д. Крайне ограниченно используется очистка воздуха из-за дороговизны и несовершенства ее технологии. Вопрос о выборе способов снижения радона в каждом конкретном случае решается в зависимости от реальных горно-геологических условий данного рудника с учетом технико-экономических показателей.

Для защиты от поступления в организм долгоживущих ПРН, содержащихся в витающей рудничной пыли, главным образом применяются различные СИЗОД. Эффективной мерой является также ограничение времени пребывания работников на участках с высокой запыленностью воздуха. Однако наиболее эффективным способом является орошение забоев и «мокрое» бурение. Защита от внешнего гамма-излучения осуществляется путем изоляции и ликвидации источника излучения и ограничением времени пребывания работников на радиационно опасных местах.

Выводы

Анализ результатов исследования радиационной обстановки на подземных горных предприятиях неурановой отрасли показал, что уровни облучения работников за счет природных источников излучения практически везде достигают, а в ряде случаев и превышают значения, допустимые для персонала. Ведущим радиационным фактором на неурановых шахтах являются дочерние продукты изотопов радона. Исключение составляют шахты по добыче золота, угля и сланца, где наибольший вклад в дозу облучения работников вносят долгоживущие при-

родные радионуклиды, содержащиеся в витающей рудничной пыли.

Многочисленность контингента работающих на неравномерных шахтах подчеркивает важность вопроса о необходимости систематических исследований радиационной обстановки на этих предприятиях и разработки, в необходимых случаях, мероприятий по ее нормализации. Первым шагом в этом направлении должно быть первичное обследование предприятий с оценкой максимальных ожидаемых доз облучения работников, которое предписано в ОСПОРБ-99 и СП 2.6.1.1292-03.

Список использованной литературы

1. Холейди, Д.А. Проблема радона в урановых рудниках [Текст] / Д.А. Холейди, Д.Е. Раминг [и др.]. – М., 1961. – 100с.
2. Радиационная защита на урановых и других рудниках [Текст]. Публикация 24 МКРЗ. пер. с англ. // – М.: Энергоатомиздат. 1979. – 76 с.
3. Радиационная защита в рудниках [Текст] Публикация 47 МКРЗ. пер. с англ. // М.: Энергоатомиздат. 1988. – 37 с.
4. Облучение от естественных источников ионизирующего излучения [Текст] : Доклад НК ДАР Генеральной ассамблеи ООН за 1988 г. // Нью-Йорк., 1988. – 92 с.
5. Sources and Effects of Ionizing Radiation [Текст] : United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly, VII: Effects – UN / NY, 2000 – 566 p.
6. Miki, T. Accumulation of atmospheric radon in calcite caves [Текст] / T. Miki., M. Ikeya // Health Phys. – 1980. – V. 39, N 2. – P. 351-354.
7. Yarborough, K.A. Radon and thoron produced radiation in National Park Service caves [Текст] / Yarborough K.A. // Prok. of Symp. On the Nat. Rad. Envir. III, Houston, Texas. – 1978. – P. 1371-1395.
8. Wilkening, M.H. Air exchange and Rn-222 concentrations in the Carlsbad Caverns [Текст] / M.H. Wilkening, D.E. Watkins D.E. // Health Phys. – 1979. – V. 31, N 2. P. 139-145.
9. Терентьев, М.В. Совместное определение концентраций продуктов распада ^{222}Rn и ^{220}Rn в воздухе [Текст] / М.В. Терентьев // Атомная энергия. – 1986. – Т. 61, Вып. 3. – С. 192-195.
10. Шалаев, И.Л. Определение концентрации ^{222}Rn в воздухе [Текст] / И.Л. Шалаев, В.Д. Спиринов, Ф.И. Зуевич [и др.]. // в кн. «Дозиметрический и радиометрический контроль при работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений». – М.: Атомиздат, 1980. – т. 1. – С. 151–156.
11. Королева, Н.А. Аппаратурно-методические разработки и метрологическое обеспечение средств измерений объемной активности радона и дочерних продуктов распада в воздухе помещений [Текст] / Н.А. Королева, И.П. Стамат, М.В. Терентьев // Радиационная гигиена: сб. науч. тр. / СПб научно-исследовательский институт радиационной гигиены. – СПб., 2006. – С. 52-60.
12. Крисюк, Э.М. Высокочувствительный гамма-спектрометр СГС-200 [Текст] / Э.М. Крисюк, В.И. Пархоменко, Б.М. Смирнов [и др.] // ПТЭ. – 1975. – № 5. – С. 33-35.
13. Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности. Радиационный контроль на предприятиях огнеупорной промышленности [Текст]. М.: Минздрав России, 2000. – 28 с.
14. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) [Текст] : утв. 02.07.99. – Взамен НРБ-96. – М.: Минздрав России, 1999. – 116 с.
15. Санитарные правила (СП 2.6.1.1292-03). Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения [Текст]. – М.: Минздрав России, 2003. – 37 с.
16. Терентьев, М.В. Радиационная безопасность шахтеров [Текст] : Автореф. канд. техн. наук – Ленинград, 1990.

¹N.A. Koroljova, ¹I.P. Stamat, ²M.V. Terentjev, ³R.P. Terentjev

Exposure levels for personnel of non-uranium underground enterprises from natural irradiation sources

¹Federal Scientific Organization «Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev» of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Saint-Petersburg

²Federal Organization of Health Protection «Hygiene and Epidemiology Center in Leningrad Region», Saint-Petersburg

³Local Department of Federal Organization of Health Protection «Hygiene and Epidemiology Center in Saint-Petersburg», Saint-Petersburg

Abstract. The article contains the analysis of the results of radiation survey at more than 100 non-uranium mining enterprises fulfilled by the Institute over the last 20 years. The article considers radiation situation formation appropriateness, demonstrates the evaluation of effective exposure doses of mining enterprises personnel from natural irradiation sources in working conditions, the dose structure is given.

Key words: radon, short-living radon and thoron daughter products, natural irradiation sources, external gamma-irradiation, effective dose, exposure dose structure, radiation situation.

Поступила 05.08.08.