

Г.И.КОРШУНОВ, *д-р техн. наук, профессор, korshunovgi@front.ru*

Н.А.МИРОНЕНКОВА, *канд. техн. наук, доцент, natalie1@inbox.ru*

Р.В.ПОТАПОВ, *аспирант, roman_nv@inbox.ru*

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

G.I.KORSHUNOV, *Dr. in eng. sc., professor, korshunovgi@front.ru*

N.A.MIRONENKOVA, *PhD in eng. sc., assistant professor, natalie1@inbox.ru*

R.V.POTAPOV, *post-graduate student, roman_nv@inbox.ru*

National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОЧИХ (РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ) ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Рассмотрены основные правила обеспечения радиационной безопасности при строительстве и эксплуатации подземных сооружений, а также методы нормализации радиационной обстановки.

Ключевые слова: радон, нормализация радиационной обстановки, горные выработки.

RADIATION SAFETY OF LABOURS (RADIATION MONITORING) IN BUILDING AND UNDERGROUND STRUCTURE OPERATION

In memoir the main rules of radiation safety in building and operation of underground structure also methods of formation of a radiation environment.

Key words: radon, normalization of the radiation environment, workings.

Анализ результатов исследования радиационной обстановки на подземных горных предприятиях неурановой отрасли показал, что уровни облучения работников за счет природных источников излучения практически везде достигают значений, допустимых для персонала, а в ряде случаев и превышают их (см.таблицу). 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 природные радионуклиды, содержащиеся в витающей рудничной пыли [4]. Большое количество работающих делает актуальной проблему обеспечения гигиенически благоприятных условий труда горняков, занятых добычей

полезных ископаемых, строительством и эксплуатацией подземных сооружений.

Об этом свидетельствуют, в частности, результаты оценки радиационной обстановки в Северо-Муйском железнодорожном тоннеле. При его строительстве индивидуальные дозы облучения проходчиков достигали 300 мЗв/год, а коллективная годовая доза персонала тоннеля в 2 раза превышала коллективную годовую дозу всего подземного персонала отечественных урановых рудников [2]. Это облучение связано с воздействием на людей источников ионизирующего излучения природного происхождения, в первую очередь дочерних продуктов ^{222}Rn .

Согласно ПБ 03-428-02 «Правила безопасности при строительстве подземных сооружений» [3], на этапе проектирования подземных сооружений на основании инже-

Уровни облучения природными источниками работников предприятий горно-добывающей отрасли (неурановая промышленность) [4]

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

Примечание. ЭРОА – эквивалентная равновесная объемная активность; в числителе – диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

нерных изысканий необходимо составлять предварительный прогноз радиационной обстановки. Результаты прогноза должны учитываться при проектировании горных выработок, выборе технологии строительства, расчете вентиляции выработок и определении материала и толщины обделки. При проведении горных работ закрытым и открытым способами администрация организации обязана установить наличие природных радиационно опасных факторов на рабочих местах.

При составлении прогноза радиационной обстановки на проектируемом (строящемся) объекте изучают физические свойства горных пород и определяют содержание в них естественных радионуклидов (ЕРН). При наличии геологоразведочных горных выработок проводится исследование содержания радона, дочерних продуктов распада радона (ДПР) и дочерних продуктов распада торона (ДПТ) в их атмосфере. Результатом исследований пород и руд (радиационной обстановки в существующих выработках) является прогнозируемое значение радоновыделения в единицу объема и дебит радона (D_{Rn}) как для всего рудника (шахты, сооружения), так и для отдельных участков и важнейших горных выработок.

Для этой цели проводится оценка поступления радона в рудничную атмосферу из стен горных выработок (в том числе и неиспользуемых пространств), рудничных вод и, в случае необходимости, – из массивов измельченной горной массы, хранящихся в подземных условиях:

$$D_{\Sigma} = D_{\text{стен}} + D_{\text{вод}} + D_{\text{масс}},$$

где D_{Σ} , $D_{\text{стен}}$, $D_{\text{вод}}$, $D_{\text{масс}}$ – суммарный дебит радона будущего предприятия, дебиты радона с поверхностей горных выработок, рудничных вод и массивов измельченной горной массы соответственно, Бк/с.

Для оценки значения $D_{\text{стен}}$ проводится изучение содержания ^{226}Ra в горных породах и определение коэффициента эманирования радона K_{Rn} , а также исследование физических свойств пород (в первую очередь газопроницаемости) [1]:

$$D_{\text{стен}} = S_{\text{выр}} \rho K_{Rn} \sqrt{\lambda d},$$

где $S_{\text{выр}}$ – общая площадь поверхности горных выработок; ρ – средняя плотность горных пород, окружающих горные выработки; K_{Rn} – среднее значение коэффициента эманирования горных пород стен будущего рудника; λ – постоянная распада радо-

на; d – среднее значение коэффициента диффузии радона в горных породах, окружающих выработки.

Дебит радона из рудничных вод, обогащенных радоном, оценивается как сумма дебитов радона из всех источников воды:

$$D_{\text{вод}} = \sum_i (C_i V_i),$$

где C_i – объемная активность радона в воде i -го источника, Бк/м³; V_i – дебит воды этого же источника, м³/с.

Прогноз выделения торона в проветриваемый объем рудника также желателен, однако в настоящее время не существует надежных методов оценки эманирования торона на будущем предприятии. По этой причине ЭРОА торона и $R_{\text{Тп}}$ оцениваются по содержанию тория в рудах и породах с учетом имеющейся информации об ЭРОА торона на аналогичных объектах.

Для нормализации радиационной обстановки могут применяться различные методы или комбинация приведенных ниже методов:

1. Защита от внешнего гамма-излучения осуществляется путем изоляции и ликвидации источника излучения. В тех случаях, когда это невозможно, следует ограничить время пребывания персонала в опасных зонах или использовать дистанционно управляемую технику.

2. Совершенствование вентиляции рудника наиболее эффективно снижает уровни радиационно опасных факторов в рудничной атмосфере. Вместе с тем следует сразу сказать, что необходимая эффективность достигается только при совместном проведении работ по оптимизации вентиляции и изоляции источников поступления радона в рудничную атмосферу.

3. Изоляция стен горных выработок различными видами покрытий вызывает эффективное снижение дебита радона. В настоящее время эта мера осуществляется путем возведения капитальной бетонной крепи или нанесением на стены различных изолирующих покрытий. Нанесение изолирующих покрытий (торкрет-бетона, полиуретана и др.) является эффективным и недорогим средством изоляции стен горных выработок, но, учиты-

вая сейсмическую нестабильность пород в зоне ведения горных работ, срок эффективного действия этих покрытий не превышает четырех месяцев, по истечении которых в них образуется обширная сеть микротрещин, через которые радон свободно поступает в горные выработки.

4. Капитальная бетонная крепь часто возводится в главных транспортных и вспомогательных (насосные, подстанции) выработках и камерах и в воздухоподающих каналах независимо от противорадиационных защитных мероприятий. Она является эффективным и долговечным средством снижения эманирования радона из стен горных выработок. Вместе с тем капитальная бетонная крепь является дорогостоящим сооружением и ее применение в чисто противорадиационных целях неэффективно с точки зрения анализа соотношения затраты-выгода. По этой причине противорадиационное применение массивных бетонных покрытий оправдано только в тех выработках, где эманирование радона со стен намного выше среднего по шахте и вносит ощутимый вклад в общешахтный дебит радона.

Следует также отметить, что даже сооружение капитальной бетонной крепи в некоторых случаях не гарантирует защиту от поступления радона в атмосферу подземных сооружений. Это подтверждается данными, полученными подземным лабораторным измерительным комплексом (ПЛИК) ФГУП НПО «Радиовый институт им.В.Г.Хлопина» при исследовании процессов накопления радона в подземных помещениях Санкт-Петербургского метрополитена. Комплекс расположен в специальных штольнях метрополитена. Результаты проведенных работ показали, что концентрация радона в грунте на глубине 50 м в месте расположения ПЛИК изменяется в течение года от 100 до 250 кБк/м³. При этом в непрветриваемых служебных помещениях ПЛИК концентрация радона в воздухе составляет от 600 до 1000 Бк/м³. В проветриваемых служебных помещениях ПЛИК концентрация радона в воздухе изменяется от 50 до 300 Бк/м³.

Для определения возможных источников поступления радона в воздух помещений ПЛИК был проведен ряд экспериментов,

в том числе эксперименты, в ходе которых при помощи осушителей снижали влажность воздуха. Анализ полученных данных позволил сделать вывод о том, что источником радона может быть также влага, поступающая в воздух помещений из окружающих горных пород сквозь капитальную бетонную крепь.

5. Для защиты от поступления в организм долгоживущих ЕРН, содержащихся в витающей рудничной пыли, также используют средства индивидуальной защиты (СИЗ) легких и ограничение времени пребывания, однако наиболее действенными являются применяемые на предприятиях средства снижения запыленности воздуха.

6. Очистку воздуха обычно применяют в местах, где невозможно организовать забор чистого воздуха во вторичную (местную) вентиляционную систему. В силу того, что накопление ДПР в очищенном воздухе происходит достаточно быстро, фильтры должны располагаться на выходе нагнетательных вторичных вентиляционных систем.

7. Уменьшение дебита радона из рудничных вод, обогащенных радоном или радием, достигается уменьшением водопритоков. Когда снижение дебита обогащенной радоном воды не представляется возможным, ее отводят по трубам на поверхность, исключая при этом контакт воды с рудничной атмосферой.

Анализ показывает, что принятые меры снижают уровень облучения горняков в 5-50 раз при приемлемых затратах. При этом соответственно достигается оптимальное снижение значений уровней радиационно опасных факторов (в первую очередь ЭРОА радона и торона). Дальнейшее воздействие на состояние радиационной обстановки на руднике значительно снижает рентабельность производства. По этой причине после проведения комплекса мероприятий, воздействующих на состояние радиационной обстановки на руднике, дальнейшее регулирование уровней облучения персонала производится только путем применения СИЗ,

ограничением времени пребывания в зонах повышенного облучения и использованием дистанционного управления автоматизированным производством.

Все методы нормализации радиационной обстановки, приведенные выше, предполагают выполнение требований НРБ-99/2009 для среднегодовых значений ЭРОА радона в горных выработках и не допускают ее кратковременных превышений над установленным уровнем на отдельных участках вследствие изменений естественной тяги, обусловленных климатическими условиями и даже временем суток.

Таким образом, только непрерывный контроль радиационной обстановки и управление ею, а также определение и учет индивидуальных доз облучения позволят избежать облучения людей, работающих в горных выработках, сверх установленных пределов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быховский А.В. Опыт борьбы с радоном при ведении горных работ / А.В.Быховский, Н.И.Чесноков, С.С.Покровский. М.: Атомиздат, 1969.
2. Павлов И.В. Уровни облучения подземного персонала рудников // АНРИ. 2004. № 1(36).
3. Правила безопасности при строительстве подземных сооружений (ПБ 03-428-02) / НТЦ «Промышленная безопасность». М., 2009.
4. Уровни облучения природными источниками излучения работников подземных предприятий неурановой промышленности / Н.А.Королева, И.П.Стамат, М.В.Терентьев, Р.П.Терентьев // Радиационная гигиена. 2008. Т.1, № 4.

REFERENCES

1. Bihovski A.V., Chesnokov N.I., Pokrovski S.S. Experience of radon control in mining operation. Moscow: Atomizdat, 1969.
2. Pavlov I.V. Exposure levels for personnel of mines // ANRI. 2004. N 1(36).
3. Safety rules for construction of underground structures (SR 03-428-02) / Scientific technical centre «Industrial safety». Moscow, 2009.
4. Koroleva N.A., Stamat I.P., Terentiev M.V., Terentiev R.P. Exposure levels for personnel of non-uranium underground enterprises from natural irradiation sources // Health physics. 2008. Vol.1, № 4.