

УДК [613.6: 613.648.4:622.34]-047.44

*А.И. Севальнев\*, А.В. Куцак\*, М.И. Костенецкий\*\**

*\*Запорожский государственный медицинский университет*

*\*\*ГУ «Запорожский областной лабораторный Центр ГСЭС Украины»*

### **РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ТРУДА ГОРНЯКОВ ПРИ ДОБЫЧЕ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ**

Статья посвящена исследованиям по оценке доз облучения подземных горнорабочих Запорожского железорудного комбината. Установлено, что общая суммарная годовая доза производственного облучения шахтеров составила 0,31 мЗв/год, что значительно ниже величин, нормируемых ОСПУ (1 мЗв/год). Наибольший вклад в дозу облучения шахтеров вносит радон-222 – 0,27 мЗв/год, что составляет 87,1 %.

**Ключевые слова:** радиационно-гигиеническая оценка условий труда, эффективная доза производственного облучения.

В результате производственной деятельности человека (добыча и переработка минерального сырья, строительство различных объектов и др.) происходит перераспределение природных радионуклидов в окружающей среде и среде обитания человека. В результате этого увеличивается радиационное воздействие на человека и, в частности, в производственной сфере.

Первым известным случаем негативно облучения в результате профессиональной деятельности можно считать повышенную смертность среди шахтеров, которые в XV–XVI ст. работали в шахтах г. Шнееберга в Саксонии (Германия), где добывали серебро. В воздухе этих шахт были обнаружены высокие концентрации радона, особенно в одной, где уровни радона составили до 500 Бк·м<sup>-3</sup>. Заболеваемость раком легких у шахтеров этой шахты в десятки раз превышала аналогичную заболеваемость у населения. Это позволило выдвинуть гипотезу о причинной связи между высоким уровнем содержания радиоактивного газа радона в воздухе на рабочих местах шахтеров и раком легких [1].

В дальнейшем было установлено, что радиационное воздействие даже при небольшой дозе облучения сопровождается допол-

нительным риском развития онкологических заболеваний.

В связи с этим нормативными отечественными документами введено нормирование радиационного фактора для работников, работающих в сфере воздействия техногенно-усиленных источников природного происхождения [2].

Одним из таких видов работ является добыча железной руды подземным способом.

Анализ литературных источников показывает, что уровни облучения шахтеров урановых рудников за счет естественной радиоактивности могут достигать величины предела годовой дозы облучения для персонала категории «А», а иногда значительно его превышать [3–5]. При этом определяющую роль в формировании дозы облучения шахтеров играют естественные радионуклиды – радон и продукты его распада, а также радионуклиды уранового и ториевого рядов, содержащиеся в добываемых рудах и вмещающих породах.

Первые исследования в этом направлении в Советском Союзе были проведены в Ленинградском НИИ радиационной гигиены [6]. В Украине работы по изучению содержания природных радионуклидов в железо-

© А.И. Севальнев, А.В. Куцак, М.И. Костенецкий, 2013

рудных шахтах проводились на шахтах Криворожского железорудного бассейна в конце 1990-х гг. [7].

Исследованиями установлено, что наибольшее значение доз облучения шахтеров характерно для железорудных, поли- и редкометаллических шахт (0,1–450 мЗв/год). В этих исследованиях учитывались только две компоненты радиационного воздействия – радон-222 и внешнее гамма-излучение. Пыле-радиационный фактор не учитывался.

В связи с этим нами проведены исследования на Запорожском железорудном комбинате, который стал первым предприятием в области, где проведена работа по оценке доз облучения подземных горнорабочих.

Запорожский железорудный комбинат – одно из крупнейших предприятий горно-металлургической отрасли Украины. Он построен на базе Южно-Белозерского месторождения железных руд, расположенного в центре Запорожской области. Две трети его запасов – богатая руда, которая содержит 60–66 % железа и значительно превосходит по качеству не только руду Криворожского бассейна, но и других месторождений Европы. Комбинат введен в эксплуатацию в 1970 г.

Рудный массив залегает на глубине 400–1000 м протяженностью более 2500 м. Главным железорудным минералом является гематит. Главными породообразующими минералами являются магнетит, кварц, сидероплезит и хлорит. Из сопутствующих минералов в породе и руде встречается циркон, апатит, рутил, турмалин, ильменит, часть из которых содержат повышенное количество естественных радионуклидов (циркон, ильменит).

Во время проходческих, взрывных, дробильных, сортировочных и других работ на горнорабочих воздействуют неблагоприятные факторы – микроклимат (повышенная влажность), производственная пыль, газы, шум, вибрация, а также ряд радиационных факторов – радиоактивная пыль руды и породы, содержащая природные радионуклиды радий-226 (Ra-226) и торий-232 (Th-232), радиоактивный газ радон-222 (Rn-222) и продукты его распада, а также внешнее гамма-излучение.

**Материалы и методы.** Для проведения исследований использовались следующие приборы и оборудование: дозиметр ДРГ-01Т1,

радиометр РРА-01, спектрометр СЕГ-001 с блоком детектирования БДЕГ-20Р1, спектрометр с блоком детектирования ДГДК-160В3, аспиратор М-822.

Годовая эффективная доза производственного облучения рассчитывалась как сумма доз внешнего облучения и внутреннего облучения, обусловленного ингаляционным поступлением долгоживущих природных радионуклидов с производственной пылью и вдыханием короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона.

Расчет доз облучения проводился по методике, изложенной в Санитарных правилах Российской Федерации «Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов» СП 2.6.1.798-99 [8].

Предварительно была исследована удельная активность естественных радионуклидов в руде и породе, определена эффективная равновесная объемная активность радона, измерено внешнее гамма-излучение и содержание естественных радионуклидов в производственной пыли воздуха рабочей зоны.

Точки измерения радиационных параметров выбраны таким образом, чтобы можно было получить достоверные результаты по лучевым нагрузкам шахтеров от внешнего гамма-излучения, внутреннего за счет радона, а также содержания долгоживущих природных радионуклидов в воздухе рабочей зоны при выполнении пылеобразующих операций.

**Результаты и их обсуждение.** В процессе определения уровня радиации было выполнено более 100 измерений мощности поглощенной дозы гамма-излучения в воздухе на рабочих местах подземных рабочих, усредненная величина которой составила 14,5 мкР/час.

Годовая эффективная доза внешнего облучения рассчитана по формуле:

$$D_{\gamma} = 10^{-6} \cdot K \cdot \sum P_{\gamma} \cdot t \quad \text{мЗв/год}, \quad (1)$$

где  $P_{\gamma}$  – мощность дозы гамма-излучения при проведении операций, мкР/час;

$t$  – время нахождения работника в точке измерения – 1700 ч/год;

$K$  – коэффициент перехода от поглощенной дозы в воздухе к эффективной, значение которого для гамма-излучения природных радионуклидов принималась равным 0,7 Зв/Гр.

Согласно расчету годовая доза от внешнего облучения составила 0,02 мЗв.

Уровень объемной активности радона-222 в зоне дыхания работников на всех горизонтах составил 50 Бк/м<sup>3</sup>. С учетом коэффициента равновесия 0,4 [9] эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона-222 составила 20 Бк/м<sup>3</sup>. Объемная активность торона-220 из-за малозначимости не измерялась, и доза от этой компоненты нами не рассчитывалась.

Доза внутреннего облучения подземных рабочих за счет ингаляции короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона рассчитывалась по формуле:

$$D_{Rn} = 10^{-6} \cdot (7,8 \cdot C_{\text{экв-Rn}}) \cdot t \text{ мЗв/год, (2)}$$

где  $C_{\text{экв-Rn}}$  – ЭРОА радона, Бк/м<sup>3</sup>;  
t – время работы – 1700 ч/год.

Используя результаты радонометрии, по формуле 2 рассчитана доза внутреннего облучения за счет вдыхания радона:

$$D_{Rn} = 10^{-6} \cdot 7,8 \cdot 20 \cdot 1700 = 0,27 \text{ мЗв / год.}$$

Для оценки дозы внутреннего облучения за счет вдыхания долгоживущих природных радионуклидов были проведены гамма-спектрометрические исследования удельной активности железной руды и породы а также отобрана пыль в зоне дыхания горнорабочих (табл. 1).

Таблица 1. Содержание естественных радионуклидов в руде и породе шахты железорудного комбината, Бк/кг

Наименование	Ra-226	Th-232	Калий-40
Руда железная	7,0	1,4	8,6
Порода	12,0	1,4	275

Результаты измерения показали, что величина запыленности на рабочих местах горнорабочих составила 7,7 мг/м<sup>3</sup>.

Доза внутреннего облучения подземных работников за счет ингаляционного поступления долгоживущих природных радионуклидов Ra-226 и Th-232 с производственной пылью рассчитывалась по формуле:

$$D_{\text{Ra-226, Th-232}} = 10^{-3} \cdot \sum A \cdot \epsilon \cdot v \cdot t \cdot f \text{ мЗв/год, (3)}$$

где A – удельная активность Ra-226 и Th-232 в производственной пыли, Бк/кг;

$\epsilon$  – дозовый коэффициент для ингаляционного поступления Ra-226 и Th-232, равный соответственно  $4,5 \times 10^{-6}$  Зв/Бк и  $4,5 \times 10^{-5}$  Зв/Бк;

v – скорость дыхания, для работ средней тяжести принималась 1,2 м<sup>3</sup>/ч;

t – продолжительность работ в условиях повышенной запыленности – 1700 ч/год;

f – измеренная средняя общая запыленность воздуха в зоне дыхания работника в течении времени работы – 7,7 мг/м<sup>3</sup>.

Проведенные расчеты показали, что доза облучения за счет ингаляционного поступления Ra-226, содержащегося в пыли руды и породы, составила 0,016 мЗв/год, за счет ингаляционного поступления Th-232 – 0,004 мЗв/год, суммарная доза от внутреннего облучения за счет долгоживущих природных радионуклидов составила 0,02 мЗв/год.

Общая суммарная годовая эффективная доза производственного облучения шахтеров при работе с техногенно-усиленными естественными радионуклидами равна сумме доз от внешнего и внутреннего облучения и составила – 0,31 мЗв/год (табл. 2).

Таблица 2. Доза облучения шахтеров железорудных шахт, мЗв/год

Внешнее облучение	Внутреннее облучение			Суммарная доза
	Rn-222	Ra-226	Th-332	
0,02	0,27	0,016	0,004	0,31

## Выводы

1. Величина эффективной дозы производственного облучения шахтеров Запорожского железорудного комбината составила 0,31 мЗв/год, что значительно ниже величин, нормируемых ОСПУ (1 мЗв/год).

2. Наибольший вклад в дозу облучения шахтеров вносит радон-222 – 0,27 мЗв/год, что составляет 87,1 %.

**Перспективы дальнейших исследований.** В связи с существенным вкладом дозы облучения шахтеров в общую дозу облучения населения Украины техногенно-усиленными источниками (2,4 мЗв/год) следует продолжить исследования в этом направлении.

Необходимо изучать дозовую нагрузку шахтеров не только железорудных, но и угольных шахт и оценить коллективную дозу облучения шахтеров Украины.

Данная работа является основанием для разработки мероприятий по снижению доз облучения шахтеров, особое внимание при этом необходимо уделить снижению содержания радона-222 в подземных выработках.

### Список литературы

1. Тихонов М. Н. Газ-убийца. Радон: источники, дозы, нерешенные вопросы / М. Н. Тихонов // Атомная стратегия. – 2006. – № 23. – С. 14–18.
2. Основні санітарні правила протирадіаційного захисту України (ОСПУ). ДСП 6.074.120.-06. – Київ, 2001.
3. Исследование радиационной обстановки на неурановых шахтах и других подземных сооружениях / Н. И. Шалак, М. В. Терентьев, Э. М. Крисюк, И. Л. Шалаев // Реферативный обзор. ЛНИИРГ. – 1982. – 67 с.
4. Облучение от естественных источников ионизирующего излучения. Доклад НКДАР Генеральной ассамблеи ООН за 1988. – Нью-Йорк, 1988. – 92 с.
5. Терентьев М. В. Уровни облучения шахтеров неурановых шахт России / М. В. Терентьев, Р. П. Терентьев // АНРИ. – 1996/97. – № 3. – С. 74–80.
6. Лисиченко Э. П. Естественная радиоактивность в промышленности, связанная с переработкой минерального сырья / Э. П. Лисиченко // Естественная радиоактивность внешней среды и дозы облучения населения в связи с хозяйственной деятельностью людей. – Л., 1977. – С. 68–77.
7. Радиационная обстановка при добыче железной руды подземным способом в Криворожском железорудном бассейне / О. Н. Беднарик, В. Ф. Выщипан, Л. А. Кривошей [и др.] // Гигиена населенных мест : сб. науч. трудов. – К., 2000. – Вып. 36, Ч. 1. – С. 266–273.
8. Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов. СП 2.6.1.798-99. – М. : Минздрав России, 2000.
9. Публикация № 65 МКРЗ. Защита от радона-222 в жилых помещениях и на рабочих местах. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 78 с.

*А.І. Севальнев, А.В. Куцак, М.І. Костенецький*

#### **РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА УМОВ ПРАЦІ ГІРНИКІВ ПРИ ДОБУВАННІ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ ПІДЗЕМНИМ СПОСОБОМ**

Стаття присвячена дослідженням щодо оцінки доз опромінення підземних гірників Запорізького залізничного комбінату. Встановлено, що загальна сумарна річна доза виробничого опромінення шахтарів склала 0,31 мЗв/рік – це значно нижче за показники, що нормуються ОСПУ (1 мЗв/рік). Найбільший вклад в дозу опромінення шахтарів вносить радон-222 – 0,27 мЗв/рік, що складає 87,1 %.

**Ключові слова:** радіаційно-гігієнічна оцінка умов праці, ефективна доза виробничого опромінення.

*A.I. Sevalnev, A.V. Kutsak, M.I. Kostenetskiy*

#### **RADIATION-HYGIENIC VALUE OF THE LABOUR CONDITIONS OF MINERS IN EXTRACTION OF IRON ORE IN THE UNDERGROUND WAY**

The annotation is dedicated to the researches of evaluation of dose of irradiation underground miners of the Zaporizhian iron-ore combine. It is established that the common summary annual dose of industrial irradiation is composed 0,31 mSv/year, that is considerably lower of the quantity, standardizing MSRU (1 mSv/year). Radon 222 carry in the biggest deposit in the dose of irradiation of the miners – 0,27 mSv/year, that is composed 87,1 %.

**Key words:** radiation-hygienic value of the labour conditions, the effective dose of the industrial irradiation.