

Т. А. Павленко¹, А. П. Оперчук²

¹ ГУ «Институт общественного здоровья им. А. М. Марзеева НАМНУ», г. Киев, Украина
² ГУ «Украинский центр контроля и мониторинга заболеваемости МЗ», г. Киев, Украина

Онкозаболеваемость персонала урановых шахт как маркер эффективности системы радиационной защиты на предприятии

Статья посвящена оценке системы радиационной защиты горняков урановых шахт. Проанализированы официальные данные о дозиметрическом контроле индивидуальных доз облучения горняков наземных и подземных специальностей в контексте риска заболеваемости раком легких. Определена структура доз облучения и вклад отдельных источников в суммарную дозу. Установлено, что за последние 15 лет зарегистрировано 114 случаев профессионального рака легких. Накопленные эквивалентные дозы на легкие онкобольных варьировали от 20 до 430 мЗв, а стаж работы в 56 % случаев составил более 20 лет.

Установлено, что фактическая средневзвешенная смертность шахтеров от рака легких составляет три случая на 1000 человек, что позволяет усомниться в достоверности результатов дозиметрического контроля и эффективности системы радиационной защиты на предприятии.

Ключевые слова: урановые шахты, шахтеры, доза облучения, рак легких, радиационная защита, приемлемый риск.

Т. О. Павленко, А. П. Оперчук

Онкозахворюваність персоналу уранових шахт як маркер ефективності системи радіаційного захисту на підприємстві

Стаття присвячена оцінці системи радіаційного захисту гірників уранових шахт. Проаналізовано офіційні дані дозиметричного контролю індивідуальних доз опромінення гірників підземних та наземних спеціальностей у контексті ризику захворюваності на рак легень. Визначено структуру доз опромінення та внесок окремих джерел у сумарну дозу гірників. Встановлено, що за 15 останніх років зареєстровано 114 випадків професійного раку легень. Накоплені еквівалентні дози на легень онкологічних хворих варіювали від 20 до 430 мЗв, а стаж роботи в 56 % випадків становив більше 20 років.

Визначено, що фактична середньозважена смертність шахтарів від раку легень становить три випадки на 1000 шахтарів, що ставить під сумнів достовірність результатів дозиметричного контролю та ефективність системи радіаційного захисту на підприємстві.

Ключові слова: уранові шахти, шахтарі, доза опромінення, рак легень, радіаційний захист, прийнятний ризик.

© Т. А. Павленко, А. П. Оперчук, 2017

Радон в воздухе рабочей зоны является одним из наиболее значимых дозоформирующих факторов для шахтеров. Как правило, его вклад в профессиональную суммарную дозу облучения составляет от 40 до 60 %. Последние эпидемиологические исследования с подытоженными накопленными данными по онкологической заболеваемости шахтеров урановых шахт (табл. 1) установили устойчивую связь между накопленной дозой облучения порядка 50 месячных рабочих уровней (РУМ, или WLM в английской аббревиатуре) и риском развития рака легких [1, 2].

Таблица 1. Оценки радиационных рисков для шахтеров урановых шахт по данным эпидемиологических исследований разных лет [2]

Источник	Количество шахтеров	Суммарный риск на 100 РУМ	95 % доверительный интервал
ICRP (1993) [3]	31 486	1,34	0,82–2,13
Tomasek et.al. (2008) [4]	10 100	1,60	1,00–2,30
UNSCEAR (2009) [1]	125 627	0,59	0,35–1,00

Изменились и методические подходы к оценке доз облучения от радона. Если в Публикации 65 [3] для расчета доз был использован «условный дозовый переход», то Публикация 126 [5] предлагает вернуться к биокинетическим и дозиметрическим моделям, т. е. оценивать влияние радона и его дочерних продуктов распада (ДПР) так же, как оценивается влияние других радионуклидов, при этом радиационные риски от радона и его ДПР увеличены практически вдвое — до $5 \cdot 10^{-4}$ на РУМ. Соответственно были пересмотрены дозовые коэффициенты для радона и его ДПР [6, 7], что автоматически влечет за собой пересмотр контрольных уровней всех параметров дозиметрического контроля и методик расчета доз облучения, а также разработку новых инструктивно-методических документов лицензионного пакета. В первую очередь, эти изменения касаются операторов урановых шахт.

Добыча урана в Украине ведется с 1949 года. Сегодня эксплуатируются две шахты, несколько месторождений уже отработаны и закрыты, одна находится на стадии введения в эксплуатацию и попутной добычи урановой руды. В разные годы в шахтах работало от 1,8 до 3,5 тысяч человек. Радиационный контроль доз облучения шахтеров, начиная с 1982 года, осуществлялся ведомственной службой предприятий. В рамках текущего надзора дозы облучения персонала контролировались специальной службой Министерства здравоохранения — объектовыми санитарно-эпидемиологическими станциями, которые были упразднены в 2012 году.

По данным отчетов эксплуатирующего предприятия, дозы облучения персонала урановых шахт в этот период не превышали 20 мЗв-год⁻¹. Оценка годовых доз персонала все эти годы велась косвенными методами — расчетным путем по периодическим измерениям контрольных параметров в рабочей зоне [8]. При этом данные эксплуатирующей компании отличаются от данных государственного надзора, который осуществлял выборочный контроль отдельных радиационных параметров на рабочих местах и установил, что реальные дозы облучения на рабочих местах могут быть значительно выше 50 мЗв-год⁻¹.

Хорошим маркером в спорах о приемлемости косвенных методов для оценки доз облучения персонала между эксплуатирующей организацией и регулятором, который настаивает на индивидуальной дозиметрии, является статистика реальной онкозаболеваемости шахтеров.

Цель статьи — анализ статистики онкологической заболеваемости шахтеров урановых шахт Украины за последние 15 лет, а также сравнительный анализ реальной и прогнозируемой онкологической заболеваемости в контексте доз облучения персонала.

Методы и материалы исследований. В рамках данной работы проанализированы 1100 карточек учета доз облучения шахтеров урановых шахт за период с 1998 по 2012 год («Карты индивидуального учета дозы облучения персонала категории «А»»), которые были предоставлены предприятиями на запросы службы санэпиднадзора для составления санитарно-гигиенических характеристик условий труда. Карточки содержали информацию о фамилии, имени и отчестве работников, их профессии, эффективных дозах облучения по годам и накопленных дозах за все время работы на предприятии.

Занесенные в карточки индивидуальные дозы облучения персонала определялись по результатам измерений радиационных параметров рабочей среды расчетными методами. Дозовые коэффициенты были взяты из НРБУ-97, а эффективные дозы (ЭД) рассчитывались из условия 1700 часов рабочего времени [9, 10].

При расчете суммарных доз учитывались все возможные внешние и внутренние источники облучения.

Суммарная ЭД шахтеров

$$E_{\text{ПП}}^A = H_{\text{ext}}^A + H_{\text{Rn}}^A + H_{\text{ДПР}}^A + H_{\text{ДПТ}}^A + H_{\text{ДАН}}^A \leq 20 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1},$$

где H_{ext}^A — ЭД внешнего облучения, мЗв·год⁻¹; H_{Rn}^A — ЭД внутреннего облучения за счет радоновой ингаляционной составляющей, мЗв·год⁻¹; $H_{\text{ДПР}}^A$ — ЭД внутреннего облучения за счет ингаляционной составляющей от ДПР радона, мЗв·год⁻¹; $H_{\text{ДПТ}}^A$ — ЭД внутреннего облучения за счет ингаляционной составляющей от ДПР торона, мЗв; $H_{\text{ДАН}}^A$ — ЭД внутреннего облучения за счет ингаляционной составляющей долгоживущих α-излучателей рядов урана и тория, которые поступают с пылью, мЗв·год⁻¹. Приведенные величины рассчитывались по следующим формулам:

ЭД от внешнего облучения

$$H_{\text{ext}}^A = 6,46 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot P_y,$$

где $6,46 \cdot 10^{-6}$ — коэффициент перехода от экспозиционной к эффективной дозе, мЗв·мкР⁻¹; t — рабочее время, ч; P_y — среднее значение мощности экспозиционной дозы на рабочем месте, мкР·ч⁻¹;

ЭД облучения от ингаляционного поступления радона

$$H_{\text{Rn}}^A = 2,42 \cdot 10^{-7} \cdot t \cdot A_{\text{Rn}},$$

где $2,42 \cdot 10^{-7}$ — коэффициент перехода от объемной активности к ЭД, мЗв·Бк⁻¹·м³·ч⁻¹; A_{Rn} — среднее значение объемной активности радона в воздухе на рабочем месте, Бк·м⁻³;

ЭД от ингаляционного поступления ДПР радона

$$H_{\text{ДПР}}^A = 9,8 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot \text{ЭРО}A_{\text{Rn}},$$

где $9,8 \cdot 10^{-6}$ — коэффициент перехода от объемной активности ДПР радона к ЭД, мЗв·Бк⁻¹·м³·ч⁻¹; $\text{ЭРО}A_{\text{Rn}}$ — среднее значение объемной активности радона в равновесии с ДПР, которые содержатся в рудничной атмосфере на рабочем месте, Бк·м⁻³;

ЭД облучения от ДПР торона

$$H_{\text{ДАН}}^A = 1,31 \cdot 10^{-4} \cdot t \cdot \text{ЭРО}A_{\text{Тн}},$$

где $1,31 \cdot 10^{-4}$ — коэффициент перехода от объемной активности ДПР торона к ЭД, мЗв·Бк⁻¹·м³·ч⁻¹; $\text{ЭРО}A_{\text{Тн}}$ — среднее значение объемной активности торона в равновесии с ДПР, которые содержатся в рудничной атмосфере на рабочем месте, Бк·м⁻³;

ЭД от ингаляционного поступления долгоживущих α-излучателей с рудничной пылью

$$H_{\text{ДАН}}^A = 0,24 \cdot t \cdot (C_{\text{ДАН}}^{\text{U}} + 2 C_{\text{ДАН}}^{\text{Th}}),$$

где 0,24 — коэффициент перехода от удельной α-активности ²³⁸U (²²⁶Ra) и ²³²Th к эффективной дозе, мЗв·Бк⁻¹·м³·ч⁻¹; $C_{\text{ДАН}}^{\text{U}}$, $C_{\text{ДАН}}^{\text{Th}}$ — соответственно средние значения объемной α-активности урана (радия) и тория в рудничной атмосфере на рабочем месте, Бк·м⁻³.

Для анализа дозовых нагрузок шахтеров персонал категории «А» по условиям труда был разделен на две группы — по основным и вспомогательным профессиям. В данной статье к основным отнесены профессии, непосредственно занятые на добывающих и горнопроходческих работах. По принципу размещения рабочих мест и характеру работ основные профессии были разделены на две подгруппы: 1) шахтеры, которые непосредственно работают в рудном теле: горняки очистных забоев на добыче и бурении, проходчики, горняки очистных забоев на масовых взрывах; 2) горняки, рабочие места которых не находятся непосредственно в рудных телах или пребывают там меньше времени: крепильщики, машинисты электровозов, монтажники и т. д. К вспомогательным профессиям отнесены инженерно-технические работники, слесарная группа и другие аналогичные профессии без постоянных рабочих мест. Такое деление рабочих мест весьма условно, так как довольно часто работникам вспомогательных профессий приходится выполнять работу на рабочих местах, которые отнесены к основным.

Анализ онкозаболеваемости шахтеров проводился по данным журналов регистрации профессиональных заболеваний. Профессиональный рак диагностировался специалистами ГУ «Институт медицинской радиологии им. С. П. Григорьева НАМН Украины» (г. Харьков) и ГУ «Институт медицины труда НАМН Украины» (г. Киев) в установленном законодательством порядке [11]. На каждого больного оставался акт-расследование профессионального заболевания (форма П-4), а диагноз заносился в журнал регистрации профессиональных заболеваний. Сроки хранения таких документов составляют 45 лет. В этой работе для анализа использованы только официально зарегистрированные случаи рака легких, которые подтверждены научными медицинскими учреждениями.

Отметим, что анализировались неполные данные об онкозаболеваемости: часть горняков после окончания трудовой деятельности и выхода на пенсию поменяла место жительства (страну), поэтому их дальнейшая судьба неизвестна; некоторые больные или их родственники

Таблица 2. Эффективные дозы облучения шахтеров урановых шахт (по данным эксплуатирующей организации), мЗв·год⁻¹

Источник	Среднегодовые эффективные дозы облучения, мЗв·год ⁻¹			
	Подгруппы основных профессий		Вспомогательные профессии	Средне-взвешенное значение по шахте
	первая	вторая		
Внешнее облучение	5,4	3,3	2,6	3,7
Внутреннее облучение долгоживущими α-излучателями уранового и ториевого рядов	5,3	4,1	4,2	4,5
Внутреннее облучение ²²² Rn, ²²⁰ Th и их ДПР	6,0	6,0	4,0	5,3
Суммарная эффективная доза	16,7	13,4	10,6	13,5

не обращались в медицинские учреждения для подтверждения причинно-следственных связей диагноза рака с профессией в прошлом и пр.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ ЭД облучения шахтеров по всему массиву данных (1100 человек) показал, что их среднегодовые индивидуальные дозы облучения варьируют в широком диапазоне — от 1,5 (машинист конвейера рудообогатительной фабрики) до 46,5 мЗв·год⁻¹ (очистной забой бурения). В подгруппах разброс значительно меньше: от 10,7 до 46,5 мЗв·год⁻¹ в первой подгруппе и от 8,4 до 19,4 мЗв·год⁻¹ во второй подгруппе основных специальностей. Для вспомогательных профессий ЭД варьировали от 1,5 до 20,7 мЗв·год⁻¹.

Усредненные значения ЭД облучения шахтеров разных специальностей приведены в табл. 2. По данным косвенного контроля параметров среды рабочей зоны установлено, что доля внутреннего облучения в суммарной дозе составляет 68–75 %, причем дозы облучения шахтеров и рабочих, которые работают на поверхности, практически одинаковы.

Анализ структуры суммарных индивидуальных доз персонала урановых шахт показал, что для наземных профессий вклад радона и его ДПР составляет порядка 23 %, а основным дозоформирующим фактором являются долгоживущие радионуклиды уранового и ториевого ряда. Данная ситуация вполне логична и объясняется тем, что работники находятся на открытых площадках, где воздействие радона не столь значимо, как для подземных групп профессий.

Для основных профессий вклад радона и его ДПР вдвое больше и составляет в среднем 43 %. Зная вклад каждого

источника в суммарную дозу, можно внести соответствующую корректировку в дозовые нагрузки шахтеров при расчетах накопленных доз облучения [5].

Распределение накопленных ЭД на легкие, обусловленные радоновой компонентой суммарной дозы, представлено на рис. 1; для сравнения на рис. 2 приведены накопленные суммарные дозы облучения.

Всего с 1999 по 2015 год официально было зафиксировано 114 случаев рака легких, при этом накопленные ЭД на легкие варьировали от 20 до 430 мЗв с пиком распределения в диапазоне 150–170 мЗв.

Согласно результатам анализа профессиональной онкологической заболеваемости за последние 15 лет, на 1000 горняков регистрируется три случая профессионального рака. Установлено, что диагноз «рак легкого» был поставлен для 11 % пациентов со стажем работы во вредных условиях меньше 15 лет, 33 % — со стажем 15...20 лет, 40 % — 20...25 лет и 16 % — больше 25 лет. Кроме того, наибольшее количество случаев рака на 1000 работников зарегистрировано среди горняков основных специальностей: 7,7 — для категории 1 и 5,6 — для категории 0. Для вспомогательных специальностей эта величина составила 3,5 случая на 1000 человек и для наземных профессий — два случая. Для сравнения: риск для персонала категории «А» МКРЗ считает приемлемым, если вероятность смерти не превышает 1,7 случая на 1000 работающих [5]. Именно этот уровень является верхней границей оправданности практической деятельности для современной системы радиационной защиты.

Иными словами, в нашем случае верхний уровень приемлемого риска, который соответствует годовой

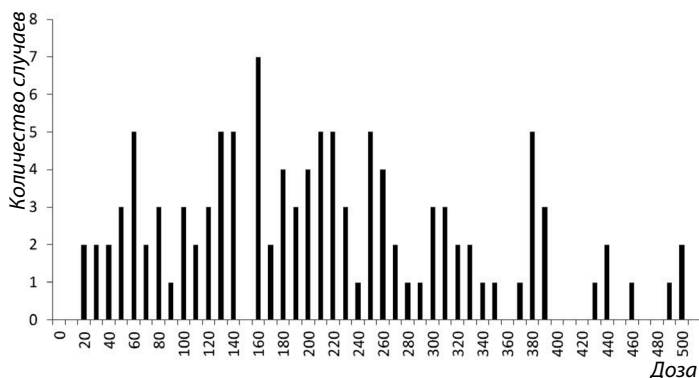


Рис. 1. Частотное распределение накопленных ЭД облучения на легкие больных онкопатологиями, мЗв

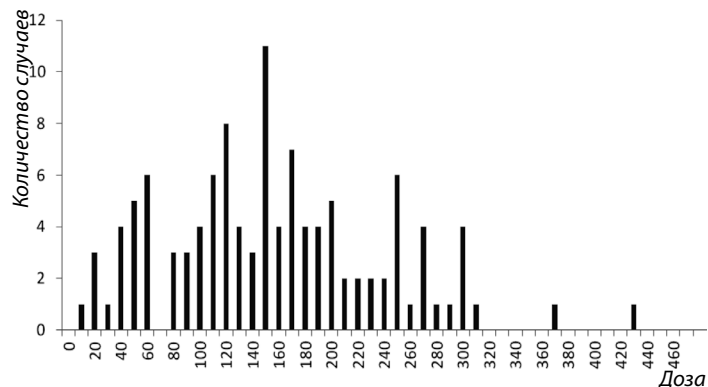


Рис. 2. Частотное распределение накопленных суммарных эффективных доз облучения больных онкопатологиями, мЗв

эффективной дозе 20 мЗв, превышен в два раза по всем подгруппам и в четыре раза — для основных профессий, что заставляет усомниться в достоверности существующей системы дозиметрии персонала.

Выводы

1. Установлено, что фактическая смертность от рака легкого в уранодобывающей отрасли Украины составляет три случая на 1000 горняков, а для подземных специальностей — семь случаев на 1000 горняков.

2. Косвенные методы контроля не обеспечивают достоверный учет индивидуальных доз облучения персонала. Существующая система радиационной защиты должна быть пересмотрена и приведена в соответствие с международными требованиями.

Список использованной литературы

1. UNSCEAR Report, Annex E: Source-to-effects Assessment for Radon in Homes and Workplaces. United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, UNSCEAR, 2009, 138 p.

2. Tirmarche M., Harrison J., Laurier D., Blanchardon E., Paquet F., Marsh J. Risk of lung cancer from radon exposure: contribution of recently published studies of uranium miners. *Ann. ICRP*. October 2012, 41: 368–377.

3. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. *Ann. ICRP*. 1993; 23(2), 78 p.

4. Tomasek, L., Rogel, A., Tirmarche, M., et al., Lung cancer in French and Czech uranium miners — risk at low exposure rates and modifying effects of time since exposure and age at exposure. *Radiation Research*. Vol. 169, 2008, 125–137.

5. Radiological Protection against Radon Exposure ICRP Publication 126. *Ann. ICRP*, 2014; 43(3), 73 p.

6. ICRP Publication 115. Lung cancer risk from radon and progeny and statement on radon. *Ann. ICRP*. 2010 Feb; 40(1):1–64.

7. Marsh, J.W., Harrison, J.D., Laurier, D., et al., Dose conversion factors for radon: recent developments. *Health Phys.* Vol. 99, 2010, 511–516.

8. Санитарные правила по эксплуатации урановых рудников. М. : МЗ СССР, 1986. 103 с.

9. ICRP Publication 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann. of the ICRP*, 1991, Vol. 21(1), 136 p.

10. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) : ДГН 6.6.1. 6.5.00198 / Комітет з питань гігієнічного регламентування МОЗ України. К., 1998. 135 с.

11. Деякі питання розслідування та обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві : Постанова КМУ від 30.11.2011 № 1232. *Офіційний вісник України*. 2011. № 94. С. 64. Ст. 3426, код акту 59426/2011.

References

1. UNSCEAR Report, Annex E, Source-to-Effects Assessment for Radon in Homes and Workplaces, United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, UNSCEAR, 2009, 138 p.

2. Tirmarche, M., Harrison, J., Laurier, D., Blanchardon, E., Paquet, F., Marsh, J. (2012), “Risk of Lung Cancer from Radon Exposure: Contribution of Recently Published Studies of Uranium Miners”, *Ann. ICRP*. October 2012, pp. 368–377.

3. Protection Against Radon-222 at Home and at Work, ICRP Publication 65, *Ann. ICRP*, 1993, 23(2), 78 p.

4. Tomasek, L., Rogel, A., Tirmarche, M., et al. (2008), “Lung Cancer in French and Czech Uranium Miners – Risk at Low Exposure Rates and Modifying Effects of Time since Exposure and Age at Exposure”, *Radiation Research*, Vol. 169, pp. 125–137.

5. Radiological Protection against Radon Exposure ICRP Publication 126, *Ann. ICRP*, 2014, 43(3), 73 p.

6. ICRP Publication 115. “Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon”, *Ann. ICRP*, 2010 Feb, No. 40(1), pp. 1–64.

7. Marsh, J.W., Harrison, J.D., Laurier, D., et al., “Dose Conversion Factors for Radon: Recent Developments”, *Health Phys.*, Vol. 99, 2010, pp. 511–516.

8. “Health and Safety Rules on Operation of Uranium Mines” [Sanitarnyye pravila po ekspluatatsii uranovykh rudnikov], Moscow, USSR Ministry of Health, 1986, 103 p. (Rus)

9. ICRP Publication 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, *Ann. of the ICRP*, 1991, Vol. 21(1), 136 p.

10. Radiation Safety Rules of Ukraine (NRBU-97) [Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy], DGN 6.6.1 6.5.00198, Committee on Health and Safety Regulations, Ministry of Health of Ukraine, 1998, 135 p. (Ukr)

11. Some Issues of Investigation and Accounting of Emergencies, Professional Diseases and Accidents at Enterprises [Deiaki pytannia rozsliduvannia ta obliku neshchasnykh vyypadkiv, profesiynykh zakhvoriuvan i avarii na vyrobnytstvi], Resoulution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1232 dated 30 November 2011, *Official Journal of Ukraine*, 2011, No. 94, p. 64, Art. 3426, Code 59426/2011. (Ukr)

Получено 06.07.2017.