

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА РАБОТНИКОВ ГРАНИТНЫХ КАРЬЕРОВ ОТ ТЕХНОГЕННО-УСИЛЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

В работе представлены результаты измерений мощности экспозиционной дозы, эквивалентной равновесной объемной активности ^{222}Rn в воздухе рабочих помещений и рабочих мест работников гранитных карьеров на юге Украины, а также в жилых помещениях этих специалистов, в питьевой воде, по результатам которых определены эффективная доза облучения работников гранитных карьеров от ингаляционного и перорального (с питьевой водой) поступления ^{222}Rn на рабочем месте и дома, и доза внешнего облучения от техногенно усиленных источников природного происхождения.

Ключевые слова: эффективная доза, ^{222}Rn , работники гранкарьеров.

У роботі представлені результати вимірювань потужності експозиційної дози, еквівалентної рівноважної об'ємної активності ^{222}Rn у повітрі робочих приміщень та робочих місць працівників гранітних кар'єрів на півдні України, а також у житлових приміщеннях цих фахівців, у питній воді, за результатами яких визначено ефективну дозу опромінення працівників гранітних кар'єрів від інгаляційного і перорального (з питною водою) надходження ^{222}Rn на робочому місці і вдома, і доза зовнішнього опромінення від техногенно підсилених джерел природного походження.

Ключові слова: ефективна доза, ^{222}Rn , працівники гранкар'єрів.

The size of effective irradiation dose of people, workings on the granite careers of region is certain, as a result of inhalation and with a drinking-water receipt of ^{222}Rn in the workplace and at home. Because of possibility existence of the ambivalent radiation loading from ^{222}Rn for the specialists of granit quarry in the provinces of South Ukraine (in the workplace and at home) it is necessary to revise principles of regulation of this category population from the sources of natural origin.

Key words: effective dose, ^{222}Rn , workers of granite quarries.

Отдельные территории юга Украины (центральная и северная территории Николаевской, Одесской, Херсонской и Кировоградской областей) характеризуется присутствием в подстилающем слое горных пород гранитоидного состава, что способствует широкому развитию в регионе гранитдобывающей и гранитперерабатывающей промышленности [4; 6]. С другой стороны, эти породы характеризуются повышенным кларковым содержанием радиоактивных элементов ряда уран-радия, а, значит, и ^{222}Rn с дочерними продуктами его распада (ДПР). По данным отечественных авторов [9-12; 13], суммарная годовая доза от естественных радионуклидов в Украине является немалой и составляет 6,15 мЗв. За оценками НКДАР ООН [7], вклад радона с ДПР в дозу облучения населения планеты от естественных источников составляет 54 %. В Украине радон достигает 79 % (4,2 мЗв) величины указанной дозы и около 60 %

величины средней эффективной дозы от всех источников [13].

Ввиду широкого развития в этих районах региона гранитдобывающей и гранитперерабатывающей промышленности, а также ввиду запланированного ввода в ближайшее время в регионе предприятий уранодобывающей отрасли, одними из актуальных вопросов радиационной безопасности и радиационной гигиены региона выступают вопросы, касающиеся техногенно усиленного природного радиационного фона, в первую очередь, облучение ^{222}Rn . По результатам наших исследований [4-6], эффективная доза от ^{222}Rn с ДПР для населения северных и центральных районов Николаевщины составляет 4-5 мЗв, что совпадает с результатами других исследований, полученных в Запорожской, Кировоградской областях [13]. Цель исследований состояла в установлении величин суммарной радиационной нагрузки от ^{222}Rn на рабочих предприятиях гранитдобывающей отрасли.

Материалы и методы исследований

Исследовались годовая эффективная доза (ГД) внешнего облучения, а также внутреннего облучения от ^{222}Rn с ДПР на работников гранитодобывающей отрасли на юге Украины. В процессе исследований установлено, что работники гранитных карьеров могут подвергаться двойному облучению от ^{222}Rn : на производстве и в жилых помещениях (рис. 1), поэтому для этой категории работников исследования по определению суммарной радиационной нагрузки от ^{222}Rn произведены как на рабочем месте ($E_{Rn,work}^{ing}$), так и дома ($E_{Rn,home}^{ing}$), с учетом потребления питьевой воды ($E_{Rn,home}^{ing}$, $E_{Rn,work}^{ing}$).

Материалами выступали результаты измерений мощности экспозиционной дозы (МЭД), измерений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) ^{222}Rn внутри рабочих помещений и на рабочих местах основных групп работников (оператор дробильной установки, бурильщик перфораторного бурения, каменотес, машинист бульдозера, машинист экскаватора) гранкарьеров (Первомайского гранитного и Первомайского гранитно-щебеночного карьеров, Александровского, Прибужского, Софиевского, Ново-Даниловского гранитных карьеров), результаты исследований ЭРОА ^{222}Rn в воздухе жилых помещений этих рабочих, результаты исследований содержания ^{222}Rn в питьевой воде, которая используется этими работниками дома и на гранкарьерах. Измерения ЭРОА ^{222}Rn выполнялись методом пассивной трековой дозиметрии с экспозицией детекторов в жилых помещениях 6-12 месяцев, на рабочих местах – не менее 30 суток. В жилых помещениях трековые детекторы устанавливались в местах наибольшего пребывания человека (гостиная, спальня), а на рабочих местах – в кабине экскаватора, бульдозера, или размещали на верхней одежде специалиста.

Для повышения достоверности результатов измерения, сравнения эффективности, чувствительности и надежности средств измерения на каждом рабочем месте и в жилых помещениях использовались три типа детекторов: «Altras» фирмы «Patras» (Германия), НЦ-детекторы (Россия), детекторы «DEGBAK» (Украина) на основе поликарбонатов типа CP – 39, характеризующихся широким энергетическим интервалом чувствительности к альфа-излучению 0,1 – 20 МеВ. Все типы детекторов были экспонированы в радоновой камере г. Желтые Воды с ^{222}Rn $963,9 \pm 9,6 \text{ Бкм}^{-3}$. Доверительная граница основной погрешности детекторов не превышала 11,2%. Разброс показателей между разными типами детекторов находился в пределах 5-10%. Определение содержания ^{222}Rn в воде выполняли гамма-спектрометрическим методом по равновесному содержанию гамма-излучающих ДПР. Всего выполнено 95 измерений ЭРОА ^{222}Rn на рабочих местах специалистов гранкарьеров, такое же количество – в их жилых помещениях. На содержание ^{222}Rn в воде исследовано 87 источников питьевой воды в местах проживания работников гранитных карьеров, и 9 источников питьевой воды, используемой на гранитных карьерах (при этом в каждом из таких

питьевых источников на гранкарьере выполнено от 3 до 6 анализов).

Определение ГД внешнего облучения человека от техногенно-усиленного радиационного фона ($E_{tecn_nat}^{ext}$) осуществлено по результатам определения МЭД и учитывая время пребывания человека на открытой местности $2000 \text{ час}\cdot\text{год}^{-1}$, в помещении – $7000 \text{ час}\cdot\text{год}^{-1}$ [12]. Определение эффективной дозы от ^{222}Rn при его поступлении ингаляционным путем ($E_{Rn,home}^{inhal}$, $E_{Rn,work}^{inhal}$) и с питьевой водой ($E_{Rn,home}^{ing(drink)}$, $E_{Rn,work}^{ing(drink)}$) осуществлено в соответствии с математическими моделями МКРЗ [1] и данных доклада НКДАР ООН [2]: дозовые коэффициенты ингаляционного поступления ^{222}Rn к человеку при пребывании в жилищном помещении принято $0,042 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}/\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, а на рабочем месте – $0,016 \text{ мЗв}\cdot\text{год}^{-1}/\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$. Дозовый коэффициент поступления ^{222}Rn с питьевой водой принято $1\cdot 10^{-8} \text{ мЗв}\cdot\text{Бк}^{-1}$ [2], годовой объем потребления питьевой воды – 800 л [12]. Среднее значение ГД $E_{Rn,work}^{inhal}$ и $E_{Rn,home}^{inhal}$ определяли сначала для определенного карьера, а потом – как средневзвешенное по всем карьерам. Значение суммарной годовой эффективной дозы облучения работников гранитных карьеров от техногенно-усиленных источников естественного происхождения определялось с учетом всех его составляющих: $E_{Rn,home}^{inhal}$, $E_{Rn,work}^{inhal}$,

$$E_{Rn,home}^{ing(drink)}, E_{Rn,work}^{ing(drink)}, E_{tecn_nat}^{ext}.$$

При статистической обработке результатов исследований применена программа STATISTICA 6.0, при сравнении средних величин результатов исследований (для больших выборок) использован t-критерий Стьюдента с помощью программы STATISTICA 6.0, MathCard 7.0.

Результаты исследований и их обсуждение

Среднее значение МЭД на рабочих местах работников Первомайского, Прибужского, Александровского, Ново-Даниловского гранитных карьеров составило $17 \pm 3 \text{ мкР}\cdot\text{час}^{-1}$. Показатели МЭД в Софиевском гранитном карьере составляли уровни в среднем $22 \pm 2 \text{ мкР}\cdot\text{час}^{-1}$, причем МЭД на уровне 24 – 28 $\text{мкР}\cdot\text{час}^{-1}$ зарегистрировано на рабочих местах экскаваторщика, дробильщика, бурильщика. В Ново-Даниловском карьере, где проводились работы по раскрытию гранитных слоев, зарегистрирован уровень МЭД $35 \text{ мкР}\cdot\text{час}^{-1}$. Исходя из средних значений МЭД на рабочих местах и учитывая время пребывания человека на рабочем месте $2000 \text{ час}\cdot\text{год}^{-1}$ [12], величина годовой эффективной дозы внешнего облучения работников гранкарьеров на рабочем месте ($E_{tecn_nat}^{ext}$) составляла: на Первомайском, Прибужском, Александровском, Ново-Даниловском гранитных карьерах в среднем $0,32 \pm 0,05 \text{ мЗв}$; на Софиевском – $0,42 \pm 0,04 \text{ мЗв}$.

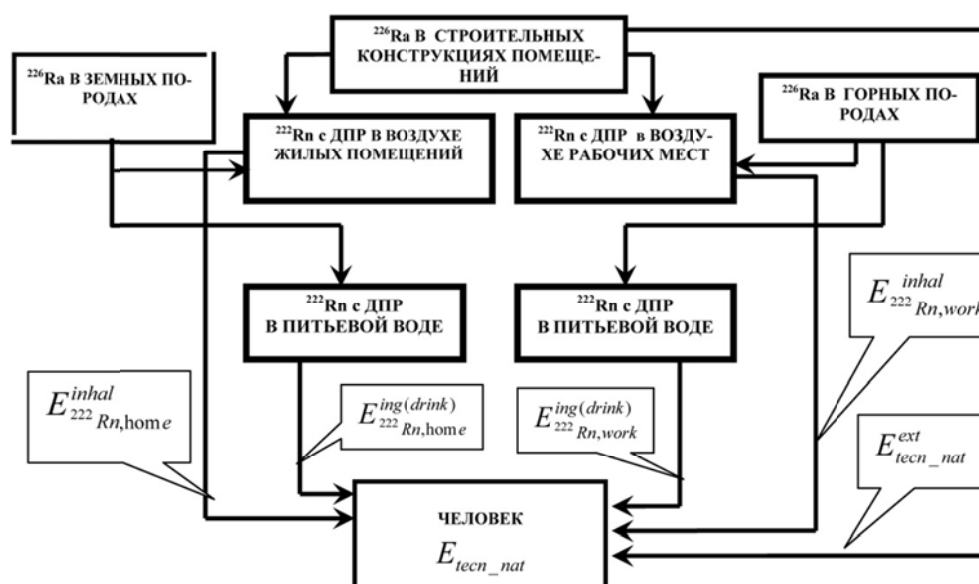


Рис. 1. Блок-схема формирования радиационной нагрузки от техногенно-усиленных источников естественного происхождения (ТУИПП) для работников гранитных карьеров на юге Украины: $E_{222Rn,home}^{inhal}$,

$E_{222Rn,work}^{inhal}$ – РЕД от ингаляционного поступления ^{222}Rn и ДПР с воздухом жилого и рабочего помещения

соответственно; $E_{222Rn,home}^{ing(drink)}$, $E_{222Rn,work}^{ing(drink)}$ – ГД от поступления ^{222}Rn с питьевой водой дома и на рабочем месте

соответственно; $E_{tecn_nat}^{ext}$ – ГД внешнего облучения на рабочем месте; E_{tecn_nat} – интегральная ГД внешнего и внутреннего облучения работников гранкарьера от ТУИПП

В табл. 1 приведены статистические характеристики (среднеарифметическое значение со стандартным отклонением, медиана, мода, минимальное и максимальное значения) результатов измерений ЭРОА ^{222}Rn для каждого карьера. Как видно из табл. 1, почти для всех гранкарьеров характерен широкий интервал разброса данных. В Софиевском гранкарьере почти все измерения ЭРОА ^{222}Rn составляли значения выше $100 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, что объясняет более высокие показатели медианного

и модального средних значений ЭРОА ^{222}Rn , полученных для этого карьера по отношению к аналогичным показателям для других карьеров. Коэффициент вариации результатов определения ЭРОА ^{222}Rn в этом карьере также оказался высоким (~ 44 %) через широкий интервал разброса данных. Средневзвешенная по карьерам величина ЭРОА ^{222}Rn на рабочих местах составляла $129 \pm 2 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$.

Таблица 1

Статобработка результатов измерений ЭРОА ^{222}Rn на рабочих местах работников гранитных карьеров ($\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$)

| Гранкарьер | n | $\bar{X} \pm S\bar{X}$ | Медианное среднее значение | Модальное среднее значение | Максимальное значение | Минимальное значение |
|---------------------------------------|----|------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|
| Первомайский гранитный карьер | 15 | 136 ± 24 | 124 | 138 | 220 | 85 |
| Первомайский гранитно-щебочный карьер | 15 | 124 ± 46 | 118 | 133 | 190 | 50 |
| Александровский гранитный карьер | 16 | 110 ± 34 | 118 | 120 | 160 | 86 |
| Прибужзкий гранитный карьер | 15 | 156 ± 48 | 133 | 152 | 310 | 84 |
| Софиевский гранитный карьер | 22 | 196 ± 86 | 160 | 184 | 355 | 58 |
| Ново-Даниловский гранитный карьер | 12 | 110 ± 36 | 118 | 116 | 240 | 58 |

Исходя из малости выборок данных по каждому рабочему месту (оператор дробильной установки, бурильщик перфораторного бурения, каменотес, машинист бульдозера, машинист экскаватора) на каждом гранкарьере ($n = 2 \div 4$), проанализированы величины средних значений ($\bar{X} \pm S\bar{X}$) активности ^{222}Rn на этих рабочих местах, полученных по всем

карьером ($n = 13 \div 20$). Значимая разница ($\rho \leq 0.05$) между средними значениями ЭРОА ^{222}Rn получена для рабочего места оператора дробилки ($137 \pm 28 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, $n = 19$), бурильщика перфораторного бурения ($160 \pm 69 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, $n = 19$), каменотеса ($171 \pm 53 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, $n = 19$) по отношению к рабочему месту машиниста экскаватора ($96 \pm 35 \text{ Бк}\cdot\text{м}^{-3}$, $n = 13$) и машиниста бульдозера

(86 ± 25 Бк·м⁻³, n = 16). Считаем, что в дальнейшем нужно продолжить исследования в отношении выявления определенных групп работников гранкарьеров, подвергающихся повышенной «радоновой» нагрузке на рабочем месте.

В таблице 2 приведены результаты исследований ЭРОА ²²²Rn в жилых помещениях работников гранитных карьеров.

Таблица 2

Основные статистические характеристики результатов измерений ЭРОА ²²²Rn в жилых помещениях работников гранкарьеров (Бк·м⁻³)

| Гранкарьер | n | $\bar{X} \pm S\bar{X}$ | Медианное среднее значение | Модальное среднее значение | Максимальное значение | Минимальное значение |
|---|----|------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|
| Первомайский гранитный карьер | 15 | 108 ± 30 | 98 | 112 | 120 | 55 |
| Первомайский гранитно-щебеночный карьер | 15 | 123 ± 12 | 102 | 125 | 160 | 45 |
| Александровский гранитный карьер | 16 | 88 ± 10 | 86 | 102 | 160 | 45 |
| Прибужский гранитный карьер | 15 | 83 ± 10 | 87 | 96 | 120 | 55 |
| Софиевский гранитный карьер | 22 | 127 ± 34 | 117 | 132 | 230 | 75 |
| Ново-Даниловский гранитный карьер | 12 | 87 ± 19 | 88 | 94 | 180 | 65 |

Исходя из данных табл. 2, имеем, что значимая разница ($\rho \leq 0.05$) между средними значениями активности ²²²Rn в жилых помещениях получена для специалистов Первомайского гранитного, Первомайского гранитно-щебеночного и Софиевского гранкарьеров. При этом по нашим наблюдениям повышенные величины ЭРОА ²²²Rn характерны для строений, построенных или с бетонных конструкций, или из распространенной в сельской местности глины (самана), а также имеющие гранитный фундамент, не имеющие вентилированных подвальных помещений, а также где вентиляция помещений или отсутствовала, или была недостаточной. А в зданиях с хорошей вентиляцией жилищного помещения, а также подпольного пространства, ЭРОА ²²²Rn была низкой. Нужно отметить, что для специалистов Первомайского гранитного, Первомайского гранитно-щебеночного, Софиевского гранитного карьеров средние величины активности радона находились на уровне нормативов для существующих зданий – 100 Бк·м⁻³ [12]. Средне-

взвешенная по карьерам величина ЭРОА ²²²Rn в жилых помещениях составляла 96 ± 2 Бк·м⁻³.

Результаты исследований содержания ²²²Rn в питьевой воде, используемой рабочими гранитных карьеров (колодец, скважины) (табл. 3), свидетельствовали о превышении 100 Бк·л⁻¹ (ГДК ²²²Rn в питьевой воде по НРБУ-97/Д2000 [12]) в некоторых питьевых источниках. Как видно из таблицы 3, максимальные значения ²²²Rn выявлено в артезианской воде на территории Софиевского гранитного карьера (345 ± 17 Бк·л⁻¹). Высокие значения содержания ²²²Rn в питьевой воде отмечены также для подземных источников из Александровского гранитного карьера. На основании полученных данных считаем, что необходимо дополнительно провести исследования содержания ²²²Rn в источниках питьевой воды на всех гранкарьерах для получения большего количества данных и разработки решения, где именно нужно обеспечивать работников привозной водой. По результатам наших исследований (n = 87), содержание ²²²Rn в питьевой воде, потребляемой этими специалистами дома, составило в среднем 50 ± 18 Бк·л⁻¹.

Таблица 3

Содержание ²²²Rn в питьевой воде из артезианских скважин и колодцев гранитных карьеров (Бк·л⁻¹)

| Место отбора | Источник питьевой воды | n (количество для определенного источника питьевой воды) | $\bar{X} \pm S\bar{X}$ |
|-----------------------------|------------------------------|---|------------------------|
| Софиевский гранитный карьер | Артезианская скважина (25 м) | 3 | 345 ± 17 |
| - " - | Колодец (5 м) | 4 | 165 ± 15 |
| Александровский карьер | Колодец (6 м) | 4 | 104 ± 5 |
| - " - | Артезианская скважина (25 м) | 4 | 74 ± 19 |
| - " - | Артезианская скважина (50 м) | 3 | 44 ± 3 |
| Прибужский гранкарьер | Артезианская скважина (30 м) | 6 | 55 ± 5 |
| - " - | Артезианская скважина (42 м) | 4 | 23 ± 5 |
| Ново-Даниловский водопровод | Артезианская скважина (25 м) | 5 | 20 ± 5 |
| Казанковский водопровод | Артезианская скважина (25 м) | 3 | 19 ± 9 |

На основании результатов определения ЭРОА ^{222}Rn в воздухе рабочих и жилых помещений гранитных карьеров (табл. 1, 2) вычислены годовые эффективные дозы в результате ингаляционного пути поступления ^{222}Rn на рабочем месте ($E_{Rn,work}^{inhal}$) и дома ($E_{Rn,home}^{inhal}$) и суммарную дозу от ингаляционного поступления ^{222}Rn дома и на гранкарьере ($E_{Rn-home}^{inhal} + E_{Rn-work}^{inhal}$) (табл. 4). По данным табл. 4 имеем, что величина дозовой нагрузки для работников гранкарьеров от ^{222}Rn дома ($E_{Rn,home}^{inhal}$) больше величины $E_{Rn,work}^{inhal}$. Это объясняется принятыми МКРЗ [1] данными относительно специальных величин, по которым определяют годовую эффективную дозу от ингаляционного поступления ^{222}Rn к человеку дома и на рабочем месте:

– разными величинами ингаляционной экспозиции¹ дочерних продуктов распада ^{222}Rn : в единицах рабочего уровня WLM (Working Level Month) длительное влияние радона с концентрацией 1 Бк м^{-3} приводит к годовой экспозиции в жилищном помещении – $4,4 \cdot 10^{-3}$ WLM, на рабочем месте – $1,26 \cdot 10^{-3}$ WLM;

– разной длительностью пребывания человека в рабочем ($2000 \text{ час год}^{-1}$) и жилком ($7000 \text{ час год}^{-1}$) помещениях.

Значимую разницу ($\rho \leq 0,05$) между средними значениями суммарной годовой дозы от ^{222}Rn получено для работников Софиевского гранитного карьера, для работников Первомайского гранитного и Первомайского гранитно-щебеночного гранкарьеров – по отношению к карьерам, где зарегистрированы более низки величины суммарной нагрузки от ^{222}Rn (Александровского и Ново-Даниловского).

Средневзвешенная по карьерам годовая эффективная доза от ингаляционного поступления ^{222}Rn с воздухом рабочих мест ($E_{Rn,work}^{inhal}$) составила $2,1 \pm 0,2$ мЗв, при разбросе от 0,9 до 5,9 мЗв; средневзвешенная по карьерам годовая эффективная доза от ингаляционного поступления ^{222}Rn с воздухом жилых помещений ($E_{Rn,home}^{inhal}$) составила $4,1 \pm 0,2$ мЗв, при разбросе от 1,8 до 9,7 мЗв.

По полученным результатам исследований, содержание ^{222}Rn в воде из подземных источников питьевой воды ГД от ^{222}Rn ($E_{Rn,work}^{ing(drink)}$) составило: в Прибужском и Ново-Даниловском гранитных карьерах – $0,02 \pm 0,01$ мЗв; в Александровском гранкарьере – около 0,04 мЗв, а в Софиевском гранкарьере $E_{Rn,work}^{ing(drink)}$ достигало 0,15 мЗв. Среднее значение годовой эффективной дозы от поступления ^{222}Rn с питьевой водой дома ($E_{Rn,home}^{ing(drink)}$) составляло $0,05 \pm 0,01$ мЗв.

Суммируя все полученные величины ГД внутреннего облучения работников гранкарьеров

($E_{Rn,home}^{inhal}$, $E_{Rn,work}^{inhal}$, $E_{Rn,home}^{ing(drink)}$, $E_{Rn,work}^{ing(drink)}$), получим, что суммарная годовая эффективная доза облучения рабочих гранитных карьеров по ингаляционному и пероральному путям поступления ^{222}Rn (по средневзвешенным показателям) составила $6,2 \pm 0,6$ мЗв.

Величину ожидаемой радиационной нагрузки на работников гранитных карьеров от ТУИПП $E_{tecn-nat,70,T}$, проживающих в условиях повышенного риска облучения от ^{222}Rn , рассчитано для референтной продолжительности жизни человека 70 лет [НРБУ-97/Д-2000 [173]], как сумму доз, получаемых дома и на работе:

$$E_{70,T} = \int_{t_0}^{t_0+T} E_{Rn-home}^{inhal}(t) dt + \int_{t_0}^{t_0+T} E_{Rn-work}^{inhal}(t) dt.$$

Ожидаемая за 70-летний период жизни человека доза хронического облучения от ТПДПП в жилищных помещениях $E_{tecn-nat,70,T}^{home}$ для радононосных территорий составила $0,06-0,92 \text{ Зв}$. Ожидаемую радиационную нагрузку от ТУИПП на производстве (ожидаемую профессиональную дозу) $E_{tecn-nat,70,T}^{work}$ определяли, исходя из среднего времени работы на производстве 25-30 лет: величина дозы составила $0,1-0,2 \text{ Зв}$. Сумма этих величин дает ожидаемую за жизнь эффективную дозу от ТПДПП для работников гранитных карьеров $E_{70,T}$: $0,16-1,12 \text{ Зв}$.

Выводы

Годовая эффективная доза внешнего облучения от ТУИПП для работников гранитных карьеров составила в среднем: на Первомайском, Прибужском, Александровском, Ново-Даниловском гранитных карьерах – $0,32 \pm 0,05$ мЗв; на Софиевском – $0,42 \pm 0,04$ мЗв.

Средневзвешенная по карьерам величина ЭРОА ^{222}Rn на рабочих местах составила $129 \pm 2 \text{ Бк м}^{-3}$. Средневзвешенная по карьерам величина ЭРОА ^{222}Rn в жилых помещениях составила $96 \pm 2 \text{ Бк м}^{-3}$.

Отмечена тенденция более высоких значений ЭРОА ^{222}Rn на рабочих местах таких работников, как оператор дробильной установки, бурильщика перфораторного бурения, каменотеса.

Работники гранитных карьеров получают двойную радиационную нагрузку от ^{222}Rn (на рабочих местах и дома). Средневзвешенная по карьерам величина радиационной нагрузки от ингаляционного поступления ^{222}Rn с воздухом рабочих мест составляла $2,1 \pm 0,2$ мЗв (при разбросе от 0,9 до 5,9 мЗв). Средневзвешенная по карьерам годовая эффективная доза от ингаляционного поступления ^{222}Rn с воздухом жилых помещений составляла $4,1 \pm 0,2$ мЗв (при разбросе от 1,8 до 9,7 мЗв). Суммарная годовая эффективная доза внутреннего облучения от поступления ^{222}Rn с воздухом рабочих и жилых помещений и с питьевой водой составила в среднем $6,5 \pm 0,2$ мЗв, а максимальные величины – 15 мЗв.

Ожидаемая радиационная нагрузка от ТУИПП на людей, работающих на гранитных карьерах и при этом проживающих в условиях повышенного риска облучения от радона, составляет в диапазоне значений $0,16-1,12 \text{ Зв}$.

¹ – это интеграл по времени от суммы потенциальных энергий альфа-излучения короткоживущих ДПР радона в единице объема воздуха [1]

Годовая эффективная доза от ^{222}Rn для работников гранитных карьеров (мЗв)

| Гранитный карьер | n | Годовая эффективная доза на рабочем месте ($E_{Rn-work}^{inhal}$) | | | Годовая эффективная доза дома ($E_{Rn-home}^{inhal}$) | | | Суммарная годовая эффективная доза дома ($E_{Rn-home}^{inhal} + E_{Rn-work}^{inhal}$) | | |
|---|----|--|-----------------------|----------------------|--|-----------------------|----------------------|--|-----------------------|----------------------|
| | | $\bar{X} \pm S\bar{x}$ | Максимальное значение | Минимальное значение | $\bar{X} \pm S\bar{x}$ | Максимальное значение | Минимальное значение | $\bar{X} \pm S\bar{x}$ | Максимальное значение | Минимальное значение |
| Первомайский гранитный карьер | 15 | 2,2 ± 0,3 | 3,5 | 1,4 | 4,5 ± 0,4 | 5,0 | 2,3 | 6,7 ± 0,6 | 8,5 | 3,7 |
| Первомайский гранитно-щебеночный карьер | 15 | 2,0 ± 0,2 | 2,5 | 0,8 | 5,2 ± 0,5 | 7,0 | 1,8 | 7,2 ± 0,7 | 9,5 | 2,6 |
| Александровский гранитный карьер | 16 | 1,8 ± 0,4 | 2,4 | 1,1 | 3,7 ± 0,4 | 6,7 | 1,8 | 5,5 ± 0,5 | 9,1 | 2,9 |
| Прибужский гранитный карьер | 15 | 2,5 ± 0,4 | 5,0 | 1,1 | 3,5 ± 0,4 | 5,0 | 2,8 | 6,0 ± 0,6 | 10,0 | 3,9 |
| Софиевский гранитный карьер | 22 | 3,2 ± 0,6 | 5,9 | 1,8 | 5,3 ± 1,4 | 9,7 | 3,2 | 8,7 ± 3,4 | 15,6 | 5,0 |
| Ново-Даниловский гранитный карьер | 12 | 1,8 ± 0,4 | 3,8 | 0,9 | 3,7 ± 0,8 | 7,6 | 2,7 | 5,5 ± 1,9 | 11,4 | 3,8 |

ЛІТЕРАТУРА

- ICRP Publication 65 (Annals of the ICRP Vol. 23 № 2) Protection Against Radon-222 at Home and at Work. – Vienna : Pergamon, 1994. – 78 p.
- Effects of Radiation on the Environment. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR (2008) Report of the United Nations Scientific Committee on General Assembly with Scientific Annex. – New York : UN, 2008.
- Pavlenko T.A., Los I.P., Aksenov N.V. Ignor – Rn levels and irradiation doses in the territory of the Ukraine // Radiation Measurements. – 1996. – Vol. 26. – P.585-591.
- Григор'єва Л. І. Доза випромінювання ^{222}Rn в окремих районах півдня України / Л. І. Григор'єва, Ю. А. Томілін // Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. – № 1. – Луцьк – 2008. – С. 291-294.
- Григор'єва Л. І. Сумарна доза іонізуючого випромінювання від компонент природного і штучного походження для населення півдня України / Л. І. Григор'єва, Ю. А. Томілін // Вісник проблем біології і медицини. – 2008. – Вип.1. – С. 70-74.
- Григор'єва Л. І. Формування радіаційного навантаження на людину в умовах півдня України: чинники, прогнозування, контрзаходи : монографія / Л. І. Григор'єва, Ю. А. Томілін. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2009. – 370 с.
- Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты // Доклад НКДАР ООН за 1994 г. на Генеральной Ассамблее. – Нью-Йорк : НКДАР ООН. 2008. Т. 1-2.
- Картирование территории Николаевской области по суммарной дозовой нагрузке на население: Отчет о НИР (промеж.) / Никол. науч.-исслед. лабор. по проблемам радиационной безопасности населения «Ларани» – № 5197/1 – Николаев, 2000. – 58 с.
- Лось И. П. Ограничение облучения человека техногенно-усиленными источниками природного происхождения / И. П. Лось, Т. А. Павленко // Довкілля та здоров'я, 2003. – Вип. 1. – С. 49-54.
- Порівняльний аналіз сумарних колективних та ретроспективно відновлених діапазонів доз опромінення населення, що постраждало від аварії на ЧАЕС / Лось І. П., Михайлов О.В., Байда Л. К., Костенко А. І., Грицак Л.П. // Гигиена населенних мест. – Київ, 2000. – Вип. 36, Ч. 1. – С. 30-37.
- Лось І. П. Основні напрями розробки національної протирадонової програми / І. П. Лось, О. М. Осадча //Наукові записки. Серія: Біологія та екологія. – 2006. – Т. 18. – С. 63-66.
- Норми радіаційної безпеки України (НРБУ – 97/2000Д). – Київ : МОЗ України, 2000. – 135 с.
- Павленко Т. А. Существующие дозы облучения населения Украины / Т. А. Павленко, И. П. Лось // Ядерна та радіаційна безпека – № 1. – 2009. – С. 18-22.

Рецензенти: **Чорна В. І.**, д.б.н., професор;
Кутлахмедов Ю. О., д.б.н., професор.

© Томілін Ю. А., Григор'єва Л. І., 2012

Дата надходження статті до редколегії: 25.04.2012 р.

ГРИГОР'ЄВА Людмила Іванівна – д.б.н., проф., зав. кафедри біології та екологічної безпеки, Чорноморський державний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: екологія людини, моделювання розповсюдження шкідливих речовин у навколишньому середовищі, міграція радіонуклідів у природних та штучних екосистемах.

ТОМІЛІН Юрій Андрійович – д.б.н., проф., директор Інституту радіаційної та еколого-техногенної безпеки, Чорноморський державний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: екологія людини, біологічні методи очищення екосистем, автоматизовані системи екологічного контролю стану довкілля, радіоекологія річкових і зрошувальних систем.