А.В. Титов[1], Н.К. Шандала[1], Д.В. Исаев[1], М.П. Семенова[1], В.А. Серегин[1], Ю.С. Бельских[1], Т.В. Остапчук[2], А.С. Чернобаев[2]

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ ПРЕБЫВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ И ВЕДЕНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВЫРАБОТАННОГО УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

[1] Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва
[2] Центр гигиены и эпидемиологии № 101 ФМБА России, Лермонтов, Ставропольский край

Контактное лицо: А.В. Титов, titov_fmbc@mail.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Анализ радиационной обстановки в районе расположения рудника № 1 Лермонтовского производственного объединения «Алмаз» в местах пребывания населения и ведения хозяйственной деятельности.

Материал и методы: При обследовании использовались методы пешеходной гамма-съемки с помощью портативного спектрометрического комплекса МКС-01А «Мультирад-М» и кратковременных измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона аэрозольным альфа-радиометром РАА-20П2 «Поиск».

Результаты: Вдоль основных маршрутов для прогулок и отдыха значения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения варьируют от 0,10 до 0,86 мкЗв/ч. Эффективные дозы внешнего облучения населения при однократном прохождении маршрутов варьируют от 1,0 до 1,6 мкЗв. Максимальный вклад в дозу от техногенного облучения не превышает 30 %.

Значения эквивалентной равновесной объемной активности дочерних продуктов изотопов радона в воздухе на маршрутах движения не превышали 60 Бк/м^3. Эффективная доза внутреннего облучения от ингаляционного поступления радона и его дочерних продуктов при разовом прохождении маршрутов не превысит 3 мкЗв.

Заключение: В основных местах пребывания населения и ведения хозяйственной деятельности в районе рудника № 1 радиационная обстановка на отдельных участках не удовлетворяет требованиям СП ЛКП-91, но не представляет угрозы здоровью населения.

Ключевые слова: *естественные радионуклиды, ингаляционное поступление, отвалы, предприятие по добыче и переработке урановых руд, эффективная доза*

Для цитирования: Титов А.В., Шандала Н.К., Исаев Д.В., Семенова М.П., Серегин В.А., Бельских Ю.С., Остапчук Т.В., Чернобаев А.С. Оценка радиационной опасности пребывания населения и ведения хозяйственной деятельности в районе расположения выработанного уранового месторождения. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2020;65(2):11-6.

DOI: 10.12737/1024-6177-2020-65-2-11-16

Введение

С 1949 г. Лермонтовским производственным объединением «Алмаз» (ЛПО «Алмаз») (Ставропольский край) проводилась разработка урановых месторождений на горе Бештау (рудник № 1) и горе Бык (рудник № 2).

На руднике № 1 добыча урановой руды проводилась с 1950 до 1975 гг. Вскрытие месторождений осуществлялось подземным способом в системе горизонтальных горных выработок (штолен), использованных для транспортировки горной массы и вентиляции. Добытая руда по железной дороге транспортировалась на Гидрометаллургический завод для переработки. При добыче урановых руд горные породы, забалансовые руды и пустые породы складировались в отвалах в районе расположения штолен. На руднике № 1 находятся 27 отвалов горных пород общей площадью 29,1 га [1–3].

Работы по ликвидации рудника и закрытию штолен и стволов выполнялись до 1994 г. по техническим решениям предприятия в соответствии с действовавшими на тот период нормативами. Было демонтировано оборудование стволов и штолен, закрыты выходы из них, выположены откосы, укрыта поверхность отвалов забалансовых руд и загрязненных пород, шахтные стволы предварительно засыпаны, открытые штольни перекрыты решётками, порталы засыпаны на 20–30 м породами, построена установка очистки шахтных вод рудника № 1 на штольне № 16. Однако эрозия и обвалы в 1990 и 1993 гг. изменили состояние отвалов и показали недостатки выполненных работ по ликвидации штолен и отвалов в части устойчивости отвалов и возможного проникновения человека в отработанные горные выработки. Установка очистки шахтных вод вышла из строя [4].

По данным на 2009 г. [4–6], практически на всех отвалах имело место нарушение требований по рекультивации, установленных в «Санитарных правилах ликвидации, консервации и перепрофилирования предприятий по добыче и переработке радиоактивных руд» (СП ЛКП-91) [7].

Бывшее предприятие ЛПО «Алмаз» находится в регионе Кавказских минеральных вод в непосредственной близости от курортных городов Пятигорск, Железноводск и Минеральные Воды, а рудник № 1 расположен непосредственно на территории памятника природы краевого значения «Гора Бештау» [8]. Состояние радиационной обстановки в данном регионе и возможное ее ухудшение из-за неудовлетворительного состояния объектов уранового производства вызывает озабоченность общественности и местной администрации.

В решении экономического совета СНГ [9] указывалась необходимость проведения дополнительных мероприятий по рекультивации территорий и объектов предприятия для приведения земель и водных

ресурсов в безопасное в радиологическом отношении состояние.

Работы по рекультивации на ЛПО «Алмаз» были включены отдельным пунктом «Рекультивация хвостохранилища, объектов Гидрометаллургического завода и урановых рудников № 1 и № 2, включая проектно-изыскательские работы, бывшего госпредприятия «Алмаз» (г. Лермонтов, Ставропольский край)» в Федеральные целевые программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 и на период до 2015 года» и «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» в качестве одной из приоритетных задач [10–12].

В 2012 г. был реализован первый этап проекта, в том числе осуществлено тампонирование ряда штолен для предотвращения выноса радионуклидов и недопущения местного населения в опасные выработки. В 2014–2015 гг. проводились работы по рекультивации 8 отвалов [13–14].

Однако, по мнению Межрегионального управления № 101 ФМБА России, проектные решения по рекультивации уранового рудника № 1 были реализованы не в полном объеме. Сохраняющаяся возможность проникать в шахту через вертикальные (стволы, вентиляционные шахты) и горизонтальные выработки (штольни) свидетельствует о недостаточности выполненных мероприятий по рекультивации рудника [15].

Целью настоящей статьи является анализ радиационной обстановки в районе расположения рудника № 1 (Бештаугорское месторождение) ЛПО «Алмаз» и оценка её влияния на облучение населения в местах отдыха и ведения хозяйственной деятельности.

Материал и методы

Обследования на руднике № 1 проводились в 2015–2018 гг. в районе штолен № 16, 31 и 31бис и по маршрутам, используемым населением для прогулок и отдыха:

- по кольцевой дороге;
- по тропе восхождения на гору Бештау со стороны г. Лермонтова;
- по тропе восхождения на гору Бештау со стороны г. Пятигорска.

Штольни № 31 и 31бис находятся на территории ООО «Электромеханический завод» (ООО ЭМЗ), расположенного на границе г. Лермонтова.

Штольня № 16 расположена в юго-восточном направлении от горы Бештау. Ниже штольни № 16 и отвалов находятся дачные участки.

В процессе исследований выполнялись измерения следующих параметров радиационной обстановки:

- мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД ГИ) на высоте 1 м от поверхности почвы;
- удельной активности (УА) радионуклидов в почве;
- эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) дочерних продуктов распада радона ;

МАЭД ГИ и УА ^{226}Ra, ^{232}Th и ^{40}K в почве исследовались методом непрерывной пешеходной гамма-съемки с помощью портативного спектрометрического комплекса МКС-01А “Мультирад-М”. Данный спектрометрический комплекс позволяет проводить гамма-сканирование открытых площадей с при вязкой к географическим координатам с использованием глобальной навигационной системы GPS и оценивать УА естественных радионуклидов в почве. Диапазон энергий регистрируемых гамма-излучения спектрометром МКС-01А “Мультирад-М” с блоком детектирования БДКС-63-01А – от 0,04 до 3 МэВ. Диапазон измерений МАЭД ГИ составляет от 0,03 до 60 мкЗв/ч. Предел допустимой основной относительной неопределенности измерений в диапазоне МАЭД ГИ от 0,03 до 0,5 мкЗв/ч составляет 25 %, а в диапазоне от 0,5 до 60 мкЗв/ч — (25 % — 0,167×МАЭД ГИ).

Кратковременные измерения ЭРОА радона проводились аэрозольным альфа-радиометром РАА-20П2 «Поиск» (диапазон измерений ЭРОА радона в воздухе от 1 до 100000 Бк/м^3). Данный радиометр в режиме работы «Поиск» позволяет оценить объемную активность и ЭРОА радона в воздухе, а также значение «фактора равновесия» в момент отбора пробы с одновременной оценкой необходимой продолжительности отбора для достижения требуемой точности измерения. При проведении обследования продолжительность измерения выбиралось таким, чтобы неопределенность измерения ЭРОА радона не превышала 20 %.

Результаты и обсуждение

Рекультивация территорий ЛПО «Алмаз» в конце прошлого столетия проводилась в соответствии с Санитарными правилами СП ЛКП-91 [7]. В соответствии с этим документом критерии рекультивации территорий, загрязненных в результате деятельности урановых производств, определены в величинах превышения радиационных параметров (мощности дозы гамма-излучения, содержания естественных радионуклидов (ЕРН) в почве и т.п.) над естественным фоном. В частности, «среднее значение мощности дозы гамма-излучения по всей площади рекультивированного участка не должно превышать 20 мкР/ч (0,2 мкЗв/ч) сверх уровня естественного фона, характерного для данной местности, а в отдельных локальных точках (не более 20 %) — не выше 60 мкР/ч (0,6 мкЗв/ч)».

На территории рудника № 1 естественный фон гамма-излучения варьирует в широком диапазоне из-за:

- почв различного типа (у подножия горы находятся большие массивы типичных мощных черноземов, в нижней и средней части горы по балкам и седловинам развиты темно-серые лесные почвы) [8];
- наличия в почвах и горных породах урано-ториево-редкоземельной минерализации (повышенного содержания радионуклидов уранового ряда в почвах и горных породах, особенно в бештаунитах, слагающих верхнюю часть массива) [16].

В табл. 1–3 представлены результаты оценки фоновых радиационных параметров, полученных на участках горы Бештау, удаленных от штолен и отвалов, на которых отношение активности ^{226}Ra к активности ^{232}Th в почве близко к кларковым значениям, равным 1. На территориях с техногенным загрязнением значения отношения активностей этих радионуклидов существенно выше.

Таблица 1

Фоновые значения радиационных параметров на горе Бештау

Ambient Values of Radiation Parameters on Beshtau Mountain

Параметр	Единица измерения	Характеристики параметра			
		Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение
МАЭД ГИ	мкЗв/ч	0,23	0,10	0,30	0,042
Отношение УА ^{226}Ra к УА ^{232}Th	отн. ед.	0,83	0,33	3,0	0,33

Таблица 2

Фоновые значения радиационных параметров в районе штольни №16

Ambient Values of Radiation Parameters at the Area of Tunnel 16

Параметр	Единица измерения	Характеристики параметра			
		Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение
МАЭД ГИ	мкЗв/ч	0,19	0,12	0,23	0,023
Отношение УА ^{226}Ra к УА ^{232}Th	отн. ед.	1,0	0,42	2,1	0,34

Таблица 3

Фоновые значения радиационных параметров в районе ООО ЭМЗ

Ambient Values of Radiation Parameters at the Area of LLC EMZ

Параметр	Единица измерения	Характеристики параметра			
		Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение
МАЭД ГИ	мкЗв/ч	0,15	0,091	0,20	0,022
Отношение УА ^{226}Ra к УА ^{232}Th	отн. ед.	1,3	0,41	4,3	0,48

Результаты исследований, проведенных в 2015–2016 гг. в районе штольни № 16, включая дачные участки, и у штолен № 31 и 31бис, включая территорию ООО ЭМЗ, представлены в статьях [17] и [18] соответственно.

Значения МАЭД ГИ в районе штольни № 16 до 2009 г. составляли 0,48 мкЗв/ч [19]. По данным работы [17], в 2016 г. уровни МАЭД ГИ, превышающие 0,6 мкЗв/ч, зарегистрированы на площадке у устья штольни № 16. На территории отвалов, расположенных ниже штольни в направлении дачных участков, МАЭД ГИ не превышала 0,4 мкЗв/ч (ниже критериев рекультивации). Отметим, что в 2015 г. значения МАЭД ГИ на отвалах были менее 0,25 мкЗв/ч. Повышение уровней произошло в 2016 г., когда в период ливневых дождей вышел из строя распределительный узел, направляющий шахтные воды в накопительные пруды. В результате этого шахтные воды, содержавшие ил, смешанные с ливневыми потоками, распространялись через отвалы к дачным участкам.

На территории дачных участков, по которой распространялись ливневые потоки с шахтными водами, значения МАЭД ГИ были менее 0,4 мкЗв/ч, но выше, чем на остальной территории, где МАЭД ГИ не превышала 0,25 мкЗв/ч.

На территории ООО ЭМЗ значения МАЭД ГИ варьирует от 0,091 до 0,39 мкЗв/ч, т.е. превышения уровня 0,6 мкЗв/ч не наблюдалось [18]. Превышение значения МАЭД ГИ 0,35 мкЗв/ч (фон + 0,2 мкЗв/ч) имеет место на локальных участках отвалов, а также на площадках у устья штолен № 31 и 31бис, загрязненных илом, поступающим с шахтными водами (в основном в период ливневых дождей). В районе расположения рабочих и служебных зданий МАЭД ГИ соответствует фоновым значениям.

Результаты измерений МАЭД ГИ по маршрутам, используемым населением для прогулок, представлены на рис. 1. На отдельных участках маршруты проходят в непосредственной близости от штолен и отвалов,

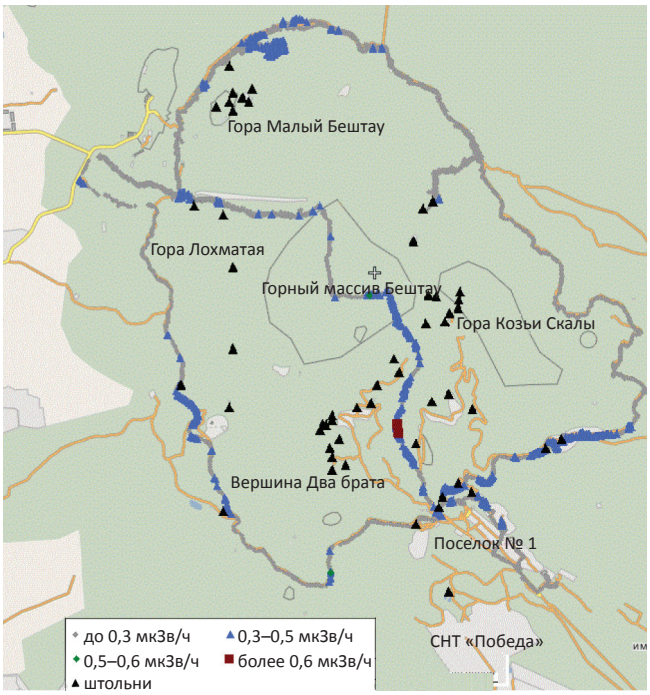

Рис. 1. Значения МАЭД ГИ на горе Бештау вдоль туристических маршрутов

Fig. 1. MAED GI values on Beshtau mountain along tourist routes

на которых, даже после ранее проведенных восстановительных мероприятий, параметры радиационной обстановки превышают критерии рекультивации [7].

Полученные значения МАЭД ГИ (рис. 1) варьируют в пределах от 0,10 до 0,86 мкЗв/ч, в том числе:

- на кольцевой дороге – от 0,10 до 0,55 мкЗв/ч (среднее значение 0,25 мкЗв/ч);
- на тропе подъема на гору Бештау со стороны г. Лермонтова от 0,15 до 0,35 мкЗв/ч (среднее значение 0,23 мкЗв/ч);
- на тропе подъема на гору Бештау со стороны г. Пятигорска – от 0,11 до 0,86 мкЗв/ч (среднее значение 0,30 мкЗв/ч);
- на вершине горы Бештау – от 0,17 до 0,30 мкЗв/ч.

Как видно из данных, приведенных на рис. 1, вдоль прогулочных маршрутов по кольцевой дороге и на тропе подъема на гору Бештау со стороны г. Лермонтова требования СП ЛКП-91 в отношении МАЭД ГИ выполняются. На тропе подъема на вершину горы со стороны г. Пятигорска имеются локальные участки вблизи штолен и отвалов, на которых МЭД ГИ превышают не только значение 0,5 мкЗв/ч (фон + 0,2 мкЗв/ч), но и 0,6 мкЗв/ч.

Исходя из измеренных значений МАЭД ГИ, были оценены эффективные дозы внешнего облучения от гамма-излучения при разовом прохождении маршрута, которые составили:

- 1,0 мкЗв при восхождении и спуске с горы Бештау со стороны г. Лермонтова (время прохождения маршрута ~ 4,0 ч) (вклад техногенного облучения менее 1 %);
- 1,6 мкЗв при восхождении и спуске с горы Бештау со стороны г. Пятигорска (~5 ч) (вклад техногенного облучения 30 %);
- 1,5 мкЗв при прохождении по кольцевой дороге (~6 ч) (вклад техногенного облучения 7 %).

Максимальный вклад техногенного облучения в эффективную дозу внешнего облучения от гамма-излучения имеет место при восхождении и спуске с горы Бештау со стороны г. Пятигорска. Данный маршрут проходит вдоль многочисленных штолен и отвалов (см. рис. 1), и на этом участке МАЭД ГИ достигает значений 0,86 мкЗв/ч.

Наибольшие значения дозы могут реализоваться при отдыхе вблизи наиболее загрязненной территории. Например, при нахождении на отдыхе в течение 5 ч на территории с МАЭД ГИ 0,86 мкЗв/ч эффективная доза внешнего облучения составит 4,3 мкЗв при вкладе техногенного облучения около 70 %.

Вторым фактором радиационного воздействия на население, находящееся на территории горы Бештау, является ингаляционное поступление радона и его дочерних продуктов.

По данным работы [16], на западном склоне горы Бештау на территориях, удаленных от радоновых аномалий и отвалов, объемная активность (ОА) радона в воздухе варьирует в пределах от 3 до 62 Бк/м^3. Эти значения ОА предлагаются принять в качестве фоновых значений для данной территории.

Кратковременные (инспекционные) измерения ЭРОА радона проводились в летнее время в районе штолен:

- № 16, где находится скважина, из которой вода поступает в водолечебницы г. Пятигорска, и периодически находятся работники, ее обслуживающие;
- № 31 и 31бис, расположенных вблизи кольцевой дороги;
- № 32 и 32бис, расположенных на территории ООО ЭМЗ.

В отличие от других штолен, входы в штольни № 31 и 31бис забетонированы и засыпаны грунтом.

Проведенные измерения при теплой безветренной погоде показали, что при удалении от устья на 10–30 м (на таком расстоянии проходит кольцевая дорога и иные пешеходные тропинки) ЭРОА радона составляет 4–60 Бк/м^3 (максимальные значения зафиксированы на тропинке, расположенной над входом в штольню). То есть полученные значения близки к фоновым.

При нахождении в течение 1 ч на территории, где значения ЭРОА радона оставляют 60 Бк/м^3, эффективная доза внутреннего облучения от ингаляционного поступления радона и его дочерних радионуклидов составит 0,5 мкЗв. Т.е. при прохождении маршрутов или отдыхе в течение 5–6 ч эффективная доза внутреннего облучения не превысит 3 мкЗв, а суммарная эффективная доза — 7,3 мкЗв.

В руководстве «Критерии реабилитации территорий и объектов предприятий по добыче и переработке урановых руд» [20] уровень вмешательства (референсный уровень) при использовании территории в качестве зоны отдыха после проведения рекультивации установлен равным 1,0 мЗв в год.

Представленные в статье данные свидетельствуют о том, что данный уровень не будет превышен даже при отдыхе на горе Бештау 2 раза в неделю в течение года.

Выводы

Исследование радиационной обстановки на территориях Бештаугорского месторождения, используемых населением близлежащих населенных пунктов в качестве зоны отдыха или ведения хозяйственной деятельности, показало следующее:

1. На горе Бештау вдоль основных пешеходных маршрутов МАЭД ГИ в основном не отличается от фоновых значений более чем на 0,2 мкЗв/ч, т.е. удовлетворяет требованиям СП ЛКП-91. На отдельных коротких по протяженности участках тропы при подъеме на гору Бештау со стороны г. Пятигорска вблизи территорий отвалов и штолен МАЭД ГИ превышает 0,6 мкЗв/ч.

Эффективная доза внешнего гамма облучения при разовом прохождении пешеходных маршрутов составляет 1,0–1,6 мкЗв. Максимальные дозы формируются при восхождении и спуске на гору Бештау со стороны г. Пятигорска. При этом вклад в дозу от остаточного техногенного загрязнения составляет около 30 %. В остальных случаях вклад в дозу техногенного облучения не превышает 7 %.

2. На отвалах, расположенных на территории ООО ЭМЗ, радиационная обстановка соответствует критериям рекультивации, установленным в СП ЛКП-91. Максимальные значения МАЭД ГИ не превышают 0,39 мкЗв/ч.

3. На дачных участках в районе расположения штольни № 16 МАЭД ГИ не превышает 0,25 мкЗв/ч.

4. Кратковременные измерения объемной активности радона в летнее время показали, что на открытой местности вне территории отвалов ЭРОА радона не превышает 60 Бк/м^3. При времени ингаляции 5 ч эффективная доза от ингаляционного поступления радона и его дочерних радионуклидов не превысит 3 мкЗв.

5. Суммарная эффективная доза от внешнего и внутреннего облучения при разовом прохождении рассмотренных туристических маршрутов не превысит 7,3 мкЗв.

6. Радиационная обстановка на рассмотренных территориях, используемых населением близлежащих населенных пунктов в качестве зоны отдыха или ведения хозяйственной деятельности, за исключением отдельных участков, удовлетворяет требованиям российских документов и не представляет угрозы для здоровья населения. Данный вывод не относится к группе населения, которая занимается незаконным проникновением в штольни, или проводит раскопки у устья штолен или на отвалах.

Assessment of the Public Radiation Protection and Economic Activity Safety in the Area of the Developed Uranium Deposit

A.V. Titov[1], N.K. Shandala[1], D.V. Isaev[1], M.P. Semenova[1], V.A. Seregin[1], Yu.S. Belskikh[1], T.V. Ostapchuk[2], A.S. Chernobaev[2]

[1] A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia, titov_fmbc@mail.ru

[2] "Center for Hygiene and Epidemiology № 101" FMBA of Russia, Lermontov, Russia

ABSTRACT

Purpose: To analize radiation situation in the vicinity of mine number one of the Lermontov Production Association "Almaz" in the areas of the public residence and economic activities.

Material and methods: During the study, methods of pedestrian gamma surveys with a portable spectrometric complex MKS-01A "Multirad-M" and short-term measurements of radon equivalent equilibrium concentration with aerosol alpha radiometer RAA-20P2 "Poisk" were used.

Results: Along the main roads used by the population for walks and rest, the values of the gamma ambient dose equivalent rate vary within the range between 0.10 and 0.86 μSv/h. Local areas with excess of the remediation criterion (0.6 μSv / h), established by the Sanitary Rules for elimination, conservation and changing functions of facilities for radioactive ore mining and milling (SP LKP-91), are located on the ascent of Beshtau Mountain from the side of the Town of Pyatigorsk (near tunnels and dumps). Along other routes, the remediation criteria are met. External effective doses to the population in a single passage of the routes vary from 1.0 to 1.6 μSv. The highest contribution to the dose from manmade radiation does not exceed 30 %. The highest external doses (4.3 μSv at the contribution of manmade radiation about 70 %) can be realized when resting near the most contaminated parts of the dumps or tunnel mouths.

The equivalent equilibrium concentrations of radon progenies in air along the routes did not exceed 60 Bq/m^3. The effective internal dose due to inhalation intake of radon and its progenies will not exceed 3 μSv when single passing routes.

Conclusions: In the main areas of the residence and economic activity of the population in the vicinity of mine number 1 , the radiation situation at some locations does not comply with the requirements of the SP LKP-9, however, it does not pose a threat to public health.

Key words: *natural radionuclides, inhalation intake, tailing dumps, uranium mining and milling facility, effective dose*

For citation: Titov AV, Shandala NK, Isaev DV, Semenova MP, Seregin VA, Belskikh YuS, Ostapchuk TV, Chernobaev AS. Assessment of the Public Radiation Protection and Economic Activity Safety in the Area of the Developed Uranium Deposit. Medical Radiology and Radiation Safety. 2020;65(2):11-6. (In Russ.).

DOI: 10.12737/1024-6177-2020-65-2-11-16

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Шахтерская энциклопедия. Лермонтовский рудник № 1. [Miner's Encyclopedia. The Lermontov Mine number 1. https://miningwiki.ru/wiki/Лермонтовский_рудник_№1. (in Russ.)].
2. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Под ред. ЕВ Евстратова, АМ Агапова, НП Лаверова, ЛА Большова, ИИ Линге. Т. 1. – М. 2012. 356 с. [Nuclear Legacy Problems and Their Solution. Ed by EV Evstratov, AM Agapov, NP Laverov, LA Bolshov, II Linge. Vol. 1. Moscow. 2012. 356 pp. (in Russ.)].
3. Boitsov AV, Komarov AV, Nikolsky AL. Environmental impact of uranium mining and milling in the Russian Federation 165-175. In: Developments in Uranium Resources, Production, Demand and the Environment. Proceedings of a Technical Committee Meeting Held in Vienna, 15–18 June 1999. IAEA, Vienna, 2004 IAEA-TECDOC-1425.
4. Конкурсная документация. Открытый одноэтапный конкурс в электронной форме на право заключения договора на выполнение работ «Рекультивация рудника № 1 и хвостохранилища по теме: «Рекультивация хвостохранилища, объектов Гидрометаллургического завода и урановых рудников № 1 и № 2, включая проектно-изыскательские работы, бывшего государственного предприятия «Алмаз» (г. Лермонтов, Ставропольский край)». Официальный государственный сайт www.zakupki.gov.ru. [Competition Documentation. Open One-stage Tender in Electronic Form for the Right to Conclude a Contract for the Execution of Works "Remediation of Mine-1 and of the Dumps on: "Remediation of the Tailing Dump, Facilities of the Hydro-metallurgical Plant and Uranium Mines Number 1 and Number 2, including Design and Survey Work, of the Former State Company of "Almaz" (the Town of Lermontov, Stavropol Territory)". Official State Website: www.zakupki.gov.ru. (in Russ.)].
5. Проектная документация. Раздел 7 «Проект организации работ по рекультивации». Часть 1 «Рудник № 1 (г. Бештау).

Рекультивация приштольневых отвалов, изоляция устьев горных выработок, выходящих на земную поверхность». Рекультивация хвостохранилища ГМЗ и урановых рудников № 1 и № 2 бывшего госпредприятия «Алмаз» (г. Лермонтов, Ставропольский край). Официальный государственный сайт www.zakupki.gov.ru. [Design documentation. Section 7 «The Project of Remediation Works». Part 1 «Mine number 1 (Mount Beshtau). Remediation of near-tunnel dumps, isolation of the estuaries of the mine working areas those emerge on the earth's surface». Remediation of the tailing dumps of the Hydrometallurgical Plant (HMP) and uranium mines number 1 and number 2 of the former state enterprise Almaz (the Town of Lermontov, Stavropol Territory). Official State Website: www.zakupki.gov.ru. (in Russ.)].

6. Отчет о результатах инженерно-экологических изысканий на территории рудника 1 (Г. Бештау) г. Лермонтов, Ставропольский край. Этап 1 п. 3. ОАО «ВНИПИ промтехнологии. — М. 2009. [Report on the Results of Engineering and Environmental Surveys on the Site of Mine-1 (Beshtau Mountain) the Town of Lermontov, Stavropol Krai. Stage 1 i.3. JCS "VNIPI Promtechnologii". Moscow. 2009. (in Russ.)].
7. СП ЛКП-91. Санитарные правила ликвидации, консервации и перепрофилирования предприятий по добыче и переработке радиоактивных руд. МЗ СССР. 1991 г. [SP LKP-91. Sanitary Rules for Elimination, Conservation, and Changing Functions of Facilities for Radioactive Ore Mining and Milling. MH USSR. 1991. (in Russ.)].
8. Паспорт памятника природы краевого значения «Гора Бештау». Утвержден приказом министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края от 28.09.2015 № 303 [Passport of the nature monument of the regional value "Mountain Beshtau". Approved by the Order of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Stavropol Krai of 28.09.2015 No. 303. mpr26.ru/upload/oopt/pasport-pamyatnika-prirody-gora-beshtau.doc. (in Russ.)].
9. Решение Экономического совета СНГ о докладе «Реабилитация территорий государств-участников Содружества Независимых Государств, подвергшихся деятельности урановых производств» (Вместе с Рабочей группой по подготовке Доклада) (Принято в г. Москве 27.12.2006). [Decision of the CIS Economic Council on the report "Remediation of the territories of the member states of the Commonwealth of Independent States affected by the activities of uranium production" (Together with the Working Group on the Report Preparing) (Approved in Moscow 27.12.2006) http://www.conventions.ru/view_base.php?id=9680. (in Russ.)].
10. Концепция федеральной целевой программы "Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года". Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 19.04.2007 №484-р. [Conception of the Federal Target Program "Nuclear and Radiation Safety for 2008 and for the Period till 2015". Approved by the Directive of the Government of the Russian Federation of 19 April 2007 No. 484-p. (in Russ.)].
11. Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года». http://фцп-ярб2030.рф. [The Federal Target Program «Nuclear and Radiation Safety for 2016 — 2020 and for the Period up to 2030». http://фцп-ярб2030.рф. (in Russ.)].
12. ФГУП «РосРАО»: Проекты реабилитации загрязненных территорий // Атомная энергия 2.0. http://www.atomic-energy.ru/articles/2012/08/17/35351. [FSUE «RosRAO»: Projects of Remediation of Contaminated Areas. Atomic Energy 2.0. http://www.atomic-energy.ru/articles/2012/08/17/35351. (in Russ.)].
13. Особые радиоактивные отходы. Под ред. И.И. Линге. — М.: ООО «САМполиграфист». 2015 г. 240 с. [Special Radioactive Waste. Ed. by I.I. Linge. — Moscow 2015. 240 pp. (in Russ.)].
14. The Fifth National Report of the Russian Federation on Compliance with the Obligations of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management. Prepared for the Sixth Review Meeting in Frames of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management. Moscow 2017. 140 pp. https://www.iaea.org/sites/default/files/russian-federation-eng-jc.pdf.
15. Доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в городе Лермонтове Ставропольского края в 2017 году». Анализ деятельности по разделу работы — радиационная безопасность и гигиена труда за 2017 год. http://fmbaros.ru/Public/Ru/mru101/sancondition. [Report "On the State of the Health and Epidemiological Wellbeing of the Population in the Town of Lermontov of the Stavropol Krai in 2017". Analysis of activities in the field of radiation safety and occupational health over 2017. http:// fmbaros.ru/Public/Ru/mru101/sancondition. (in Russ.)].
16. Микляев ПС, Петрова ТБ, Маренный АМ и др. Уровни эксхаляции радона на западном склоне горы Бештау, Кавказские минеральные воды. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2018(5):20-30. [Miklyaev PS, Petrova TB, Marenny AM et al. Radon Exhalation Rate on the Western Slope of Beshtau Mountain, Caucasian Mineral Waters Region. Geoekologiya Inzhenernaya Geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya. 2018(5):20-30. (in Russ.)].
17. Шандала НК, Титов АВ, Исаев ДВ и др. Оценка влияния последствий ливневых дождей на радиационную обстановку в районе расположения штольни № 16 бывшего предприятия ЛПО «Алмаз». Медицина экстремальных ситуаций 2017;2(60):202-7. [Shandala NK, Titov AB, Isaev DV et al. Assessment of the Impact of the Effects of Heavy Rain on the Radiation Situation in the Vicinity of the Tunnel Number 16 of the Former «Almaz» company. Medicine of Extreme Situations. 2017;2(60):202-7. (in Russ.)].
18. Титов АВ, Шандала НК, Маренный АМ и др. Радиационная обстановка на объекте бывшего предприятия ЛПО «Алмаз». Гигиена и санитария 2017;96(9):822-6. [Titov AB, Shandala NK, Marenny AM et al. Radiation Situation on the Site of the Former "Almaz" Company. Hygiene and Sanitary. 2017;96(9):822-6 (in Russ.)].
19. Карпенко ЕИ, Санжарова НИ, Спиридонов СИ, Серебряков ИС. Радиоэкологическая обстановка в районе размещения бывшего уранодобывающего предприятия ЛПО «Алмаз». Радиация и риск. 2018;(4):73-81. [Karpenko EI, Sanzharova NI, Spiridonov SI, Serebryakov IS. Radioecological Situation in the Vicinity of the Former Uranium Processing Plant "Almaz". Radiation and Risk. 2018;(4):73-81. (in Russ.)].
20. Р 2.6.5.048-2017. Критерии реабилитации территорий и объектов предприятий по добыче и переработке урановых руд: Руководство. — М.: ФМБА, 2017. 13 с. [R 2.6.5.048-2017. Criteria for Remediation of Sites and Facilities for Uranium Ore Mining and Milling: Guidance. — M. Federal Medical Biological Agency, 2017. 13 pp. (in Russ.)].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Financing. The study had no sponsorship.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Поступила: 21.01.2020. **Принята к публикации**: 12.03.2020.
Article received: 21.01.2020. **Accepted for publication**: 12.03.2020.