

Радиационно-гигиеническая оценка воздействия негативных природных факторов, а также последствий деятельности ОАО «Гидрометаллургический завод» на население города Лермонтов

В статье приведены результаты радиационно-гигиенического обследования, целью которого была оценка доз, получаемых населением на радоноопасной территории (город Лермонтов Ставропольского края) от дочерних продуктов радона и торона при ингаляционном поступлении, с учетом их неприсоединенной к аэрозолям фракции. Исследования по этой тематике выполнены в Российской Федерации впервые. В статье оценивается возможный вклад источника антропогенного радиоактивного загрязнения окружающей территории – хвостохранилища ОАО «Гидрометаллургический завод».

Ключевые слова:

добыча и переработка урановых руд, хвостохранилище, радон и торон, объемная активность радона и торона, эквивалентная равновесная объемная активность радона и торона, неприсоединенная к аэрозолям фракция дочерних продуктов распада радона и торона, эффективная доза облучения.

А.Б.Крупкин, А.В.Гусев

(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства, г. Санкт-Петербург, Россия)

К зоне ответственности ФМБА России относятся действующие или перепрофилированные предприятия по добыче и обогащению ураносодержащих руд. Одним из таких предприятий является ОАО «Гидрометаллургический завод» (в настоящее время перепрофилирован), находящийся на территории города Лермонтов Ставропольского края. Этот район отличается повышенным естественным уровнем выделения радона и торона из почвы. На данной территории с 1990-х гг. по настоящее время неоднократно проводились исследования как специалистами нашего института, так и другими организациями [1-5].

Цель исследований

Цель исследований – оценка доз от дочерних продуктов распада радона и торона при их ингаляционном поступлении с учетом неприсоединенной к аэрозолям фракции для населения, проживающего на радоноопасной территории, обслуживаемой ФМБА России.

Задачи исследования

В ходе выполнения исследования были решены следующие задачи:

1. Эколого-гигиеническое обследование территории перепрофилированных (ликвидированных) объектов уранодобывающей и перерабатывающей промышленности (ОАО «Гидрометаллургический завод», г. Лермонтов, далее – ОАО «ГМЗ»), а также прилегающих к ним территорий.

2. Проведение измерений доли неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов распада радона и торона в помещениях различного назначения на территории города Лермонтов Ставропольского края.

3. Выполнение расчетов доз облучения населения, проживающего на радоноопасной территории, получаемой в результате суммарного воздействия на бронхолегочную систему присоединенной и неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов распада радона и торона.

Материалы и методы исследования

В ходе выполнения работ по изучению активности естественных радионуклидов (ЕРН) в окружающей среде, проводившихся на территории хвостохранилища ОАО «ГМЗ» и на территории города Лермонтов, изучалось содержание ЕРН в пробах почвы и поверхностных вод. Выполнялись измерения эксхалляции радона путем отбора проб воздуха у поверхности земли на сорбционные колонки, содержащие активированный уголь. В дальнейшем были выполнены спектрометрические

исследования отобранных образцов. На рис. 1 показано расположение ОАО «ГМЗ» и хвостохранилища (заполненные отходами карты выделены коричневым цветом) относительно жилой застройки г. Лермонтов.

Для оценки доз, которые получает население, проживающее на территории с повышенным выделением радона, за счет дочерних продуктов его распада, а также их неприсоединенной к аэрозолям фракции, необходимо определить их среднегодовой уровень. Эта задача была решена с использованием ранее разработанных методик [6,7]. Для определения среднегодового уровня эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона по поступлению радона в помещения были выполнены серии измерений в холодный (в ноябре 2014 г.) и теплый период года (в июле–августе 2015 г.). В результате этих исследований были получены данные о радиационной обстановке в отдельных строениях, что способствовало установлению возможных причин, вызывающих вариации плотности потока радона и неравномерность поступления радона в помещения (освещение этих исследо-

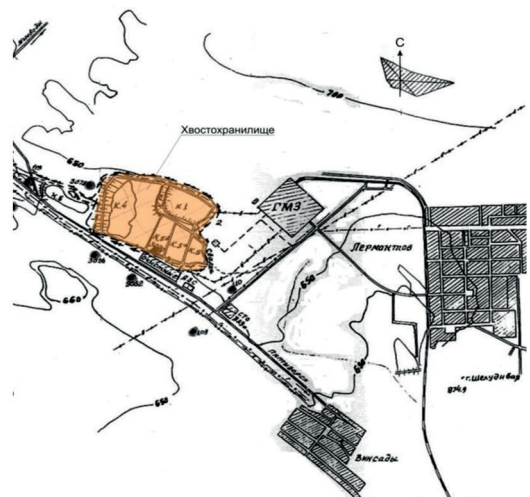


Рис. 1. Схема расположения ОАО «ГМЗ», хвостохранилища (заполненные отходами карты выделены коричневым цветом) и жилой застройки (выделена серой штриховкой). Пульпопровод изображен пунктирной линией, проходящей от ГМЗ к картам хвостохранилища.

ваний требует отдельной публикации). Было установлено, что характерным для неприсоединенной фракции дочерних продуктов распада (ДПР) радона является постоянство ее доли в ЭРОА радона в конкретных помещениях, за исключением случаев, когда имеет место существенное изменение дисперсного состава аэрозоля в воздухе (приготовление пищи, значительное изменение запыленности и др.). При выполнении экспрессных измерений можно оценить среднегодовую долю неприсоединенной фракции ДПР в ЭРОА радона по единичным измерениям [6,7]. Расчеты вклада неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов распада радона и торона в суммарную эффективную дозу облучения населения были выполнены в соответствии с Методическими указаниями [8]. Расчеты эффективной дозы облучения населения радоном и его дочерними продуктами выполнены с использованием коэффициентов перехода от экспозиции, зависящей от уровня облучения, к поглощенной дозе, обоснование которым дано в работе [9]. Для проведения расчетов в Методических указаниях [8] был использован подход, применяемый в США [10], когда расчеты производятся, исходя из времени нахождения людей в их жилищах в течение 0,7 года (6136 часов). Время нахождения персонала в учебных заве-

дениях и детских дошкольных учреждениях принято равным 1972 часам в год в соответствии с нормами рабочего времени, утвержденными трудовым законодательством Российской Федерации.

Оценивалась потенциально возможная максимальная доза облучения сотрудников школ за счет ДПР радона и их неприсоединенной фракции. В связи с этим при выполнении расчетов предполагалось, что все свое рабочее время они проводят в закрепленных за ними кабинетах. Во всех школах г. Лермонтов (общеобразовательных, художественной и музыкальной) действует кабинетная система обучения. Это означает, что за каждым преподавателем закреплен определенный кабинет, в котором он проводит занятия. Реальная доза облучения будет меньше, поскольку не весь свой рабочий день учителя проводят на рабочих местах.

Измерения ЭРОА радона и дочерних продуктов распада в помещениях различного назначения выполнены с использованием двух типов приборов: РАА-10 и САТ-03; а неприсоединенная к аэрозолям фракция дочерних продуктов распада измерялась с помощью последнего из перечисленных приборов. Метрологические характеристики этих приборов приведены в табл.1.

Табл.1. Метрологические характеристики приборов РАА-10 и САТ-03.

Характеристика прибора	Тип прибора	
	РАА-10	САТ-03
Диапазон измерения ЭРОА радона, Бк/м ³	10 ÷ 2,0 · 10 ⁴	2 ÷ 1,0 · 10 ⁵
Диапазон измерения ЭРОА торона, Бк/м ³	0,5 ÷ 1,0 · 10 ⁴	0,5 ÷ 1,0 · 10 ⁵
Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения ЭРОА радона и торона	±30	±30
Предел допускаемой основной относительной погрешности измерения ЭРОА неприсоединенной фракции ДПР радона и торона	-	±30
Уровень собственного фона, 1/с, не более	0,002	0,002
Рабочие условия эксплуатации: - температура окружающего воздуха, °С - относительная влажность (%) при температуре окружающего воздуха +25 °С	от +5 до +35 до 80	от +5 до +35 до 80

Хвостохранилище гидromеталлургического завода как источник радиоактивного загрязнения окружающей среды

Добыча урановых руд в районе Кавказских минеральных вод производилась с 1950 г. как попутная добыча при проходке подготовительных и вскрывающих горных выработок, объем добычи был невелик, и руда полностью вывозилась на переработку за пределы региона. Промышленная эксплуатация рудника «Бештау» началась предприятием ЛПО «Алмаз» в 1951 г. В ноябре 1954 г. был введен в строй гидromеталлургический завод (ГМЗ) по переработке урановых руд, первоначально перерабатывавший руды Бештау, с 1958 г. – также руды Быкогорского рудника. С 1967 г. на завод дополнительно завозилась руда и уранофосфатный концентрат с других предприятий (к примеру, в 1975 г. завод перерабатывал привозную руду месторождения «Желтые воды» (Украина) и уранофосфорные рудные концентраты месторождений ПГМК (Казахстан, полуостров Мангышлак, г. Шевченко).

В 1966 г. на предприятии началось внедрение шахтного подземного выщелачивания, что привело к постепенному уменьшению количества вновь образуемых твердых отходов (при формировании блоков подземного выщелачивания более 80% отбитой горной массы остается под землей). Насыщенная смола из сорбционных колонн спецтранспортом доставлялась на ГМЗ. С 1971 г. на руднике «Бештау» уран добывался только методом шахтного выщелачивания, добыча руды была прекращена. В период с 1989 по 1990 гг. была прекращена подземная добыча руды на руднике № 2 (Бык).

Обработка месторождений и выпуск закиси окиси урана на Лермонтовском производственном объединении «Алмаз» были завершены в 1991 г. В декабре 1997 г. была проведена реорганизация ЛПО «Алмаз» с выделением из его состава трех юридических лиц: Госу-

дарственного унитарного предприятия «Гидрометаллургический завод» (ГУП «ГМЗ»), ГУП «Электромеханический завод» и совхоз «Горный». После смены собственника ОАО «Гидрометаллургический завод» перерабатывает апатит с выпуском сложных фосфорных удобрений. На рекультивированной части хвостохранилища организована свалка бытовых отходов.

Хвостохранилище – основное сооружение хвостового хозяйства. Устройство его может быть различным в зависимости от особенностей местности, состава отходов и способа их укладки. По способу укладки различают намывные и наливные хвостохранилища, по размещению на местности – равнинные и расположенные в естественных или искусственных понижениях рельефа, так называемые овражно-балочные или горные.

Наиболее распространенными являются намывные хвостохранилища, когда ограждающая дамба наращивается намывом хвостовой пульпы, перекачиваемой с ГМЗ по пульпопроводу (рис.2) [11]. На наливных хвостохранилищах ограждающая дамба отсыпается из твердой, преимущественно песковой, фракции хвостов, а иловая фракция вместе с хвостовыми водами отдельно подается по пульпопроводу в образующуюся чашу. Насыпные дамбы хвостохранилищ сооружают обычно в тех случаях, когда на заводе перерабатывают концентраты сравнительно богатых урановых руд. При этом песковой фракции бывает мало, и ее не хватает для намыва полноценной устойчивой дамбы большой протяженности. Такие хвостохранилища чаще всего бывают овражно-балочными с дамбой небольшой протяженности.

Наливными называют также хвостохранилища, когда хвостовую пульпу закачивают (наливают) в бессточное естественное или искусственное понижение рельефа (например, в отработанный карьер). К ним же относятся

хвостохранилища, у которых ограждающие дамбы сооружены из инертного (не хвостового) материала. К этому типу относится хвостохранилище ОАО «ГМЗ» в городе Лермонтов.

Особенности устройства хвостохранилища существенно влияют на его характеристику как источника загрязнения окружающей среды. Общим для всех хвостохранилищ является то, что это приземные источники неорганизованного поступления радиоактивных и токсических загрязнений в окружающую среду. Хвостохранилище имеет большую открытую поверхность (десятки и сотни тысяч квадратных метров), сложенную мелкодисперсным пылящим материалом с различной крупностью частиц (пески, илы). Основными пылящими поверхностями являются наружные откосы ограждающих дамб, а также высохшие поверхности отработанных карт хвостохранилища.

Отстойный прудок хвостохранилища заполнен хвостовыми водами, которые содержат значительное количество различных солей и других химических соединений, а также остаточное количество урана и растворимые соединения других радионуклидов уранового ряда. Они могут инфильтровать через толщу твердой фракции хвостов (в том числе и через

дамбу) и проникать в грунт, загрязняя подземные воды как радиоактивными веществами, так и различными химическими соединениями.

Удельная активность песковой фракции хвостов обычно примерно на порядок ниже активности иловой фракции. Поэтому на намывных хвостохранилищах наружные откосы ограждающих дамб образованы наименее радиоактивной и менее пылящей крупнодисперсной песковой фракцией хвостов. Наиболее высокоактивная иловая фракция в течение всего периода эксплуатации хвостохранилища находится под водой отстойного прудка и представляет опасность как источник пылеобразования только после окончания эксплуатации хвостохранилища (или отдельной его карты), когда отстойный пруд высыхает.

При формировании насыпных дамб хвостовой материал не дифференцируется по крупности (следовательно, и по удельной активности). Поэтому при прочих равных условиях удельная активность пылящей поверхности насыпной дамбы обычно выше, чем намывной.

В общих чертах консервация хвостохранилища проходит в несколько этапов, каждый из которых может занимать несколько лет. На первом этапе происходит сокращение

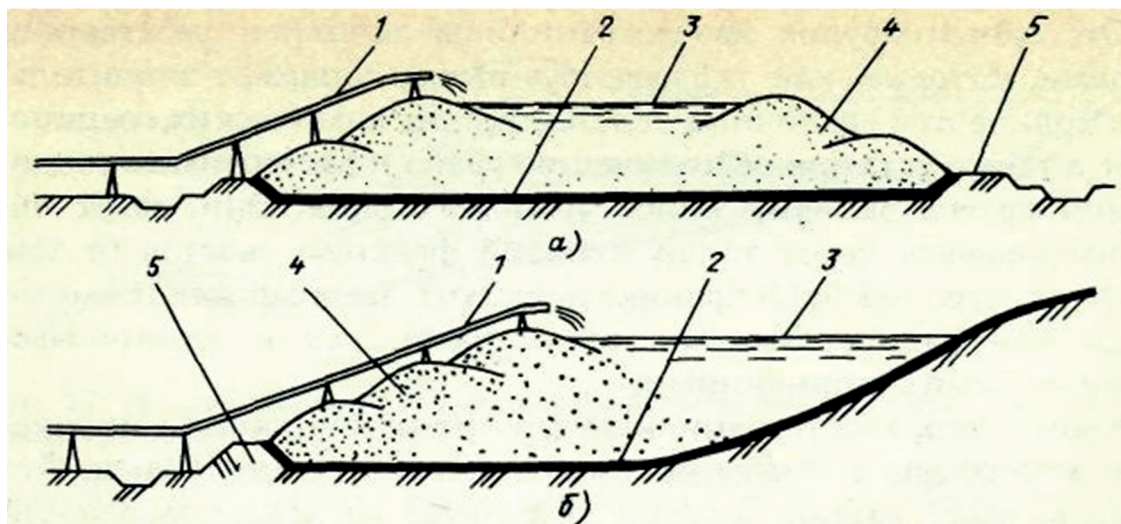


Рис.2. Устройство и основные элементы намывных равнинных (а) и овражно-балочных (б) хвостохранилищ [11]: 1 – пульпопровод; 2 – водоупорный экран; 3 – зеркало отстойного прудка; 4 – намывная дамба; 5 – пионерная дамба.

жидкой фазы хвостов за счет ее естественного испарения. В течение этого этапа происходит уплотнение поверхности хвостов до такой плотности, при которой поверхность может выдержать технику. В зависимости от климатических условий эта фаза может продолжаться десятки лет.

На следующем этапе консервации хвостохранилища его внутренний объем заполняют гравийно-щебеночной наброской, мощность которой должна быть определена проектом, и слоем чистого грунта толщиной не менее 0,5 м, принимая во внимание, что глубина прорастания корней большинства трав составляет около 40 см. На ОАО «ГМЗ» для этой цели применяется засыпка поверхности хвостохранилища слоем фосфогипса. Последующие мероприятия по рекультивации территории практически могут быть аналогичны применяемым при рекультивации рудничных и карьерных отвалов (посев трав для формирования дерна и последующая посадка многолетней растительности).

Заключительным этапом консервации хвостохранилища является его реабилитация и рекультивация, призванные изолировать захороненные техногенные отходы с целью исклю-

чения их влияния на окружающую среду и население. Практически это означает предотвращение выноса вредных веществ путем фильтрации жидкой части хвостов, минимизацию ветрового переноса вредных веществ, включенных в твердую фазу хвостов, и восстановление плодородного слоя почвы.

В табл.2 приведены значения активности естественных радионуклидов в пробах почвы, отобранных вдоль пульпопровода (рис.1), в табл.3 показана активность естественных радионуклидов в поверхностном слое рекультивированного участка хвостохранилища. Характер распределения активности радионуклидов, связанных с урановым производством (^{226}Ra , ^{232}Th) в почвах в районе расположения хвостохранилища иллюстрирован рис.2 и 3.

Обращает на себя внимание неравномерное загрязнение почв отходами ГМЗ в районе пульпопровода, образовавшееся в результате локальных протечек (для ^{226}Ra распределение активности резко асимметрично, в отличие от других радионуклидов). Что касается активности ЕРН в районе хвостохранилища, то принято считать, что влияние дефляционных процессов на загрязнение территорий вокруг них можно проследить на расстоянии

Табл.2. Активность естественных радионуклидов в пробах почвы, отобранных вдоль пульпопровода (12 проб).

Радионуклид	Активность радионуклида, Бк/кг				
	Среднее арифметическое значение	Медиана	Стандартное отклонение	min	max
^{226}Ra	872,1	198,5	1633,8	37,0	5244,0
^{232}Th	44,4	40,0	12,0	32,0	63,0
^{40}K	509,0	437,0	188,8	361,0	1000,0

Табл.3. Активность естественных радионуклидов в поверхностном слое рекультивированного участка хвостохранилища (24 пробы).

Радионуклид	Активность радионуклида, Бк/кг		
	Среднее арифметическое значение	Медиана	Стандартное отклонение
^{226}Ra	43,9	36,0	18,5
^{232}Th	22,2	21,0	7,4
^{40}K	407,2	390,0	70,7
Суммарная удельная α -активность	106,6	103,0	22,1

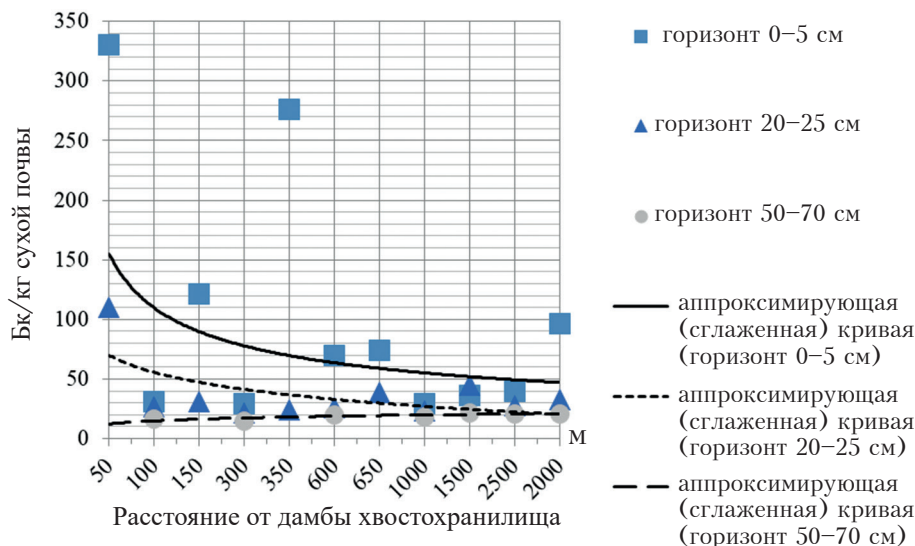


Рис. 3. Активность ^{226}Ra в разных почвенных горизонтах в районе расположения хвостохранилища ОАО «ГМЗ» г. Лермонтов.

до 500–600 м [12]. Характер распределения ^{226}Ra в почве, показанный на рис. 3, наглядно демонстрирует снижение активности с увеличением расстояния от дамбы и глубины отбора пробы (пробы отбирались по розе ветров, с подветренной стороны). В отличие от территории, прилегающей к хвостохранилищу, на участках, не затронутых деятельностью предприятия, характерно равномерное распределение по профилю почв долгоживущих естественных радионуклидов как уранового ряда, так и не принадлежащих к нему.

Изучение уровней радона на хвостохранилище и в городе Лермонтов проводилось в 2006–2008 гг. [12]. Было определено, что

наиболее вероятные колебания среднегодовых медианных значений уровня объемной активности (ОА) радона в приземном слое атмосферы в городе Лермонтов лежат в пределах от 5–7 до 13–15 Бк/м³. Атмосферный воздух на территории хвостохранилища по удельному поступлению радона (11 Бк/м³) и по остальным радиационным показателям не отличается от воздуха городской черты. После проведения защитных мероприятий на хвостохранилище ГМЗ, выполненных в 2008 г., исследования атмосферного воздуха позволили сделать вывод об отсутствии влияния этого объекта на уровни радона и его дочерних продуктов на окружающей территории.

Табл. 4. Эксхалиция радона с различных участков хвостохранилища (14 точек измерений).

Характеристика места измерения	Эксхалиция радона, мБк/(м ² ·с)				
	Среднее арифметическое значение	Медиана	Стандартное отклонение	min	max
Дамба намывная, пески крупнодисперсные, не рекультивирована, производилось укрытие поверхности дамбы слоем грунта толщиной в 20–30 см	1729	1020	1654	258	4281
Карта подверглась рекультивации полностью	693	601	458	101	1320
Дамба намывная, пески мелкодисперсные, гребень дамбы укрыт слоем фосфогипса	287	154	292	57	675
Рекультивация на карте не завершена, поверхность залита фосфогипсом	8	8	3	4	18

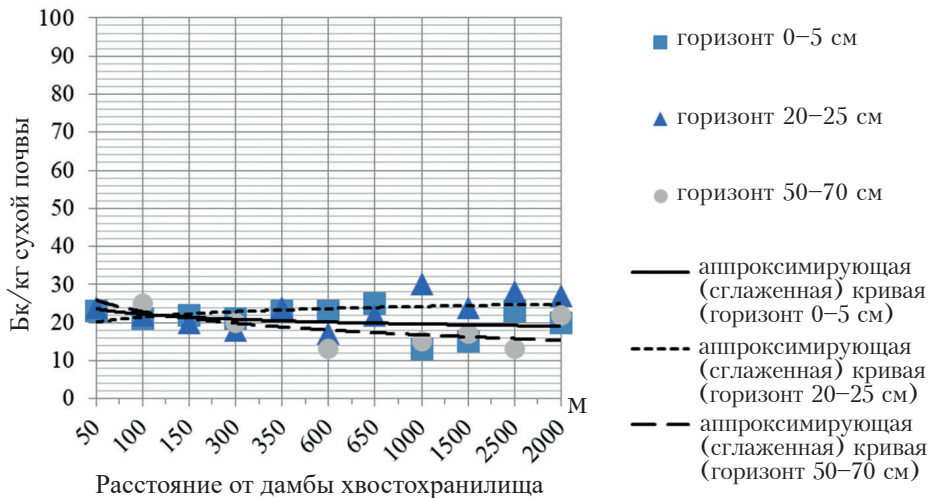


Рис. 4. Активность ^{232}Th в разных почвенных горизонтах в районе расположения хвостохранилища ОАО «ГМЗ» г. Лермонтов.

В табл. 4 приводятся результаты определения эксхалляции радона на различных участках хвостохранилища. Хорошо видна эффективность фосфогипса как экрана, препятствующего поступлению радона в атмосферный воздух, и зависимость ее от способа, которым производилось укрытие тех или иных участков (на карты хвостохранилища фосфогипс поступает с жидкими отходами производства, слой формируется в результате испарения воды и высыхания поверхности, на дамбы фосфогипс укладывается с применением строительной техники (экскаваторы и бульдозеры).

Загрязнения поверхностных вод сточными водами ГМЗ и хвостохранилища наблюдались в первые годы их работы. С 1959 г. содержание радиоактивных элементов в сбросном лотке не превышало 0,14 мг/л, а концентрации ЕРН в ранее загрязненных водоемах снизились до уровней в несколько раз меньше нормативов. Стоит отметить, что проведенное нами изучение активности почв в районе хвостохранилища не выявило каких-либо особенностей в характере загрязнения почвенных горизонтов по водотoku и вне его. Возможно, это связано с тем, что участки, загрязненные в начальный период существования производства, оказались закрыты в процессе дальней-

шего расширения хвостохранилища, вначале картой № 4, а в последствии картой № 6. После введения в эксплуатацию карты № 6 сброс вод хвостохранилища в гидрографическую сеть и на рельеф не производился [11].

Приведенные выше оценки свидетельствуют о том, что потенциально возможные дозы, получаемые населением от наследия добычи урана, то есть, объектов ГМЗ (хвостохранилище) пренебрежимо малы.

Оценка эффективной дозы облучения населения города Лермонтов за счет ДПР радона с учетом неприсоединенной к аэрозолям фракции. Результаты выполненных исследований

Оценка эффективной дозы облучения населения, проживающего на территориях с повышенным выделением радона, дочерними продуктами распада радона и торона с учетом их неприсоединенной к аэрозолям фракции проведена на основании измерений, выполненных в ноябре 2014, июле–августе 2015 и июне 2021 гг. Исследования радиационной обстановки в городе Лермонтов были проведены в помещениях жилых домов (10 измерений), детской музыкальной школы (27 измерений), детской художественной школы (30 измерений)

и общеобразовательной школы № 1 (23 измерения). Измеренные уровни ЭРОА района в жилых помещениях составляли от 10 до 340 Бк/м³. По результатам измерений доля неприсоединенной фракции в ЭРОА района находилась в пределах от 16% до 34% при среднем уровне 22%. В каждом помещении было проведено несколько измерений в 2014–2015 гг. и в 2021 г. Средние значения ЭРОА района и доли неприсоединенной фракции в обследованных помещениях зданий различного назначения приведены в табл.5. Измеренные уровни ЭРОА района в подавляющем большинстве помещений оказались на уровне нижнего предела детектирования приборов – 3,0 Бк/м³.

Оценка дозы облучения населения ДПР района с учетом неприсоединенной фракции в жилом секторе свидетельствует о наличии достаточно большого количества случаев превышения только за их счет порога облуче-

ния в 5 мЗв/год (в 80% обследованных жилых помещений). Максимальная доза облучения населения ДПР района с учетом неприсоединенной фракции в обследованных зданиях достигает 20 мЗв/год. Анализ результатов измерений показал, что за счет неприсоединенной фракции дочерних продуктов распада радона эффективная доза облучения населения увеличивается в среднем в три раза по отношению ко вкладу присоединенной (аэрозольной) фракции ДПР района.

В помещениях трех школ тоже имеют место высокие уровни радона и его дочерних продуктов, в среднем в помещениях каждой из школ доля неприсоединенной фракции составляет около 24%. Время экспозиции в них значительно меньше, чем в жилом секторе, благодаря ограниченному периоду пребывания сотрудников школ и учащихся в помещениях с высокими уровнями ЭРОА района (продолжительность рабочего дня и время

Табл.5. Средние значения ЭРОА района и доли неприсоединенной фракции в обследованных помещениях зданий различного назначения в г. Лермонтов.

Обследованное помещение	ЭРОА района, Бк/м ³ (1) и доля неприсоединенной фракции, % (2) по измерениям 2014–2015 гг.		ЭРОА района, Бк/м ³ (3) и доля неприсоединенной фракции, % (4) по измерениям 2021 г.	
	1	2	3	4
Музыкальная школа, 3 этаж, концертный зал	62,0	19,0	65,0	19,0
Музыкальная школа, 1 этаж, кабинет № 44	480,0	24,0	150,0	23,0
Художественная школа, 1 этаж, кабинет № 4	715,0	31,0	350,0	31,0
Общеобразовательная школа № 1, 1 этаж, большой спортзал	335,0	18,0	295,0	22,0
Общеобразовательная школа № 1, 1 этаж, малый спортзал	390,0	19,7	290,0	19,7
Общеобразовательная школа № 1, полуподвал, бухгалтерия	300,0	19,6	350,0	25,0
Многokвартирный дом, ул. Гагарина, д. 1, 1 этаж, гостиная	91,0	24,2	Нет данных	Нет данных
Многokвартирный дом, ул. Гагарина, д. 1, 1 этаж, спальня	176,0	16,7	Нет данных	Нет данных
Жилой дом, ул. Школьная, 15, 1 этаж (новое строительство)	Нет данных	Нет данных	110,0	20,8
Жилой дом, ул. Горняков, 6, 1 этаж	Нет данных	Нет данных	245,0	23,1

учебы законодательно ограничены, существуют каникулы и отпуска).

Оценка потенциально возможных доз облучения сотрудников детской музыкальной школы ДПР радона с учетом неприсоединенной фракции показала, что в пяти из обследованных одиннадцати помещений (табл.6) эти дозы превышали бы регламентированный уровень, равный 5 мЗв/год, установленный для облучения от всех природных источников, и составляли бы от 6,9 до 131 мЗв/год.

Наиболее высокое значение было отмечено в тепловом узле, находящемся в подвале здания и составившее 131 мЗв/год. Однако поскольку нахождение персонала школы, а тем более учащихся в этом помещении не допус-

Табл.6. Потенциально возможные дозы облучения сотрудников детской музыкальной школы города Лермонтов ДПР радона с учетом неприсоединенной фракции по данным измерений 2014, 2015 и 2021 гг.

Обследованное помещение	Доза облучения, мЗв/год		
	2014 г.	2015 г.	2021 г.
3-й этаж, концертный зал	2,8	2,8	1,5
3-й этаж, кабинет № 39	Нет данных	Нет данных	8,7
1-й этаж, лестничная площадка	Нет данных	Нет данных	7,0
Подвал, тепловой узел	Нет данных	Нет данных	131,0
1-й этаж, кабинет № 44	8,9	6,9	3,0
1-й этаж, кабинет № 45	Нет данных	Нет данных	1,4
1-й этаж, кабинет № 46	10,9	10,9	3,9
1-й этаж, кабинет № 49	Нет данных	Нет данных	2,7
1-й этаж, кабинет № 2	Нет данных	Нет данных	1,3
1-й этаж, кабинет № 3	Нет данных	Нет данных	2,0
1-й этаж, кабинет № 5	Нет данных	Нет данных	3,6

Табл.7. Потенциально возможные дозы облучения дочерними продуктами распада радона и торона с учетом их неприсоединенной фракции сотрудников общеобразовательной школы № 1 г. Лермонтов по данным измерений 2014, 2015 и 2021 гг.

Обследованное помещение	Доза облучения, мЗв/год		
	2014 г.	2015 г.	2021 г.
1-й этаж, большой спортзал	4,7	6,2	5,6
1-й этаж, малый спортзал	8,6	8,6	5,1
1-й этаж, кабинет № 18 (вскрыт пол, идет ремонт)	Нет данных	Нет данных	1,8
Полуподвал, помещение бухгалтерии	9,4	9,4	7,6
Полуподвал, библиотека	Нет данных	Нет данных	7,3

кается, это значение можно рассматривать только как максимальное потенциально возможное в этом здании. Доза ДПР радона и их неприсоединенной фракции в эффективной дозе облучения сотрудников музыкальной школы в 2021 г. снизилась (в некоторых помещениях в 3 раза) (табл.4) по сравнению с аналогичными показателями 2014 и 2015 гг. в результате выполненных в 2017–2018 гг. радонозащитных мероприятий.

Оценка дозы облучения сотрудников средней общеобразовательной школы № 1 ДПР радона с учетом неприсоединенной фракции показала, что в четырех из пяти обследованных помещений (табл.7) доза превышала регламентированный уровень и составляла от 5,1 до 9,4 мЗв/год. Наиболее высокие значения были отмечены в помещениях бухгалтерии и библиотеки, находящихся в полуподвальных помещениях здания школы: 9,4 мЗв/год по данным измерений 2014 и 2015 гг. и 7,6 мЗв/год по данным измерений 2021 г.

Оценка потенциально возможной дозы от ДПР радона и их неприсоединенной фракции для сотрудников детской художественной школы показала, что в четырех из семи обследованных помещений (табл.8) этот вклад превышает регламентированный уровень и составляет от 5,3 до 29,8 мЗв/год.

Наиболее высокое значение было отмечено в помещении кабинетов № 4–6 на первом этаже здания. Следует отметить, что потенциально возможные дозы от ДПР радона

Табл.8. Потенциально возможные дозы облучения дочерними продуктами распада радона и торона с учетом их неприсоединенной фракции сотрудников детской художественной школы города Лермонтов по данным измерений 2014, 2015 и 2021 гг.

Обследованное помещение	Доза облучения, мЗв/год		
	2014 г.	2015 г.	2021 г.
1-й этаж, класс слева от вестибюля	Нет данных	5,3	2,8
1-й этаж, веранда слева от вестибюля	Нет данных	Нет данных	5,4
1-й этаж, класс справа от вестибюля	Нет данных	Нет данных	5,2
1-й этаж, кабинет № 4 – 6	29,8	17,5	8,6
1-й этаж, кабинет зам. директора по учебной работе	Нет данных	Нет данных	3,5
2-й этаж, кабинет истории искусства	Нет данных	Нет данных	5,2
2-й этаж, кабинет № 8	2,7	3,1	4,3

Табл.9. Потенциально возможные дозы облучения сотрудников общеобразовательной школы № 1, детской музыкальной школы и детской художественной школы города Лермонтов от ДПР радона с учетом и без учета неприсоединенной фракции по данным измерений 2021 г.

Обследованное помещение	Доза облучения, мЗв/год	
	Без учета неприсоединенной фракции	С учетом неприсоединенной фракции
Музыкальная школа, 3 этаж, концертный зал	0,4	1,5
Музыкальная школа, 1 этаж, кабинет № 44	0,9	3,0
Художественная школа, 1 этаж, кабинет № 4	2,1	8,6
Общеобразовательная школа № 1, 1 этаж, большой спортзал	1,8	5,6
Общеобразовательная школа № 1, 1 этаж, малый спортзал	1,8	5,1
Общеобразовательная школа № 1, полуподвал (помещение бухгалтерии)	2,1	7,6

и их неприсоединенной фракции для сотрудников художественной школы в 2021 г. существенно снизились (табл.8) по сравнению с аналогичными показателями, полученными по данным измерений 2014 и 2015 гг. Это связано с проведением в 2018 г. радонозащитных мероприятий в здании художественной школы, направленных на уменьшение поступления радона в помещения. Тем не менее, как следует из результатов измерений 2021 г., устранить эту проблему удалось лишь частично.

В табл.9 приведены результаты оценки доз от ДПР радона в помещениях общеобразовательной школы № 1, художественной и музыкальной школ по данным измерений 2021 г. с учетом и без учета неприсоединенной фрак-

ции. Данные говорят о том, что без учета неприсоединенной фракции ошибка при оценке среднегодовой эффективной дозы облучения может достигать четырех и более раз. Очевидно, что учет неприсоединенной фракции при оценке дозы от ДПР радона в помещениях зданий различного назначения, находящихся на радоноопасных территориях, исключительно важен.

Заклучение

Выполненные исследования показали, что наряду с природным повышенным уровнем выделения радона и торона из почвы, источником антропогенного радиоактивного загрязнения окружающей территории является

хвостохранилище названного выше предприятия. Радиоактивное загрязнение воздуха возникает в результате постоянных выбросов с его территории пыли, газов и радиоактивных аэрозолей, в которых содержатся соединения урана, тория и радия, а также радон.

Исследованиями установлено, что доза от ДПР радона и их неприсоединенной фракции для населения в результате нахождения в жилых помещениях превышала 5 мЗв/год в 80% обследованных помещений и доходила до 20 мЗв/год.

Потенциально возможная доза от ДПР радона и их неприсоединенной фракции в обследованных школах города Лермонтова превышала 5 мЗв/год в 57% помещений и доходила до 17,8 мЗв/год.

Литература

1. Микляев П.С., Петрова Т.Б., Щитов Д.В., Сидякин П.А., Цебро Д.Н. Динамика выброса радона из штолен бывшего уранового рудника на склонах горы Бештау // АНРИ. 2022. № 4(111). С. 44-60.
2. Крупкин А.Б., Арефьева Д.В., Фирсанов В.Б., Петушок А.В. Оценка состояния окружающей среды и эффективности реабилитационных мероприятий в районе расположения хвостохранилища // АНРИ. 2022. № 3(110). С. 61-67.
3. Микляев П.С., Петрова Т.Б., Маренный А.М., Щитов Д.В., Сидякин П.А., Мурзабеков М.А. О генезисе радоновых аномалий в зонах тектонических разломов // АНРИ. № 1(100). 2020. С. 3-15.
4. Микляев П.С., Маренный А.М., Цапалов А.А., Петрова Т.Б. Комплексные мониторинговые исследования формирования радоновых полей грунтовых массивов. Основные результаты // АНРИ. № 4(91). 2017. С. 2-22.
5. Пахолкина О.А., Жуковский М.В., Ярмошенко И.В., Верейко С.П. Оценка среднегодовых и средних многолетних значений ЭРОА радона в помещениях // АНРИ. 2010. № 2(61). С. 50-55.
6. Методика экспрессной оценки среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности радона и торона в воздухе помещений различного назначения. Методические указания, МУ 2.6.1.01-05. М., 2005.
7. Методика выполнения измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона-222 и радона-220 и ее составляющей, обусловленной неприсоединенной фракцией дочерних продуктов распада, в воздухе помещений различного назначения. ФР.1.38.2011.10024. МВИ. СПб., 2011.
8. Расчет суммарной эффективной дозы облучения населения радоноопасных территорий с учетом неприсоединенной к аэрозолям фракции дочерних продуктов радона и торона. Методические указания, Р ФМБА России 06.043-2016. М., 2015.
9. W. Jacoby, «Relations between the inhaled potential α -energy of ^{222}Rn and ^{220}Rn daughters and the absorbed in the bronchial and pulmonary region», *Health Phys*, vol. 236, no. 1, pp. 3-11, 1972.
10. G. Butterweck, Ch. Shuler, G. Vezzu, et al. «Experimental determination of the absorption rate of unattached radon progeny from respiratory tract to blood», *Ibid.*, vol. 102, no. 4, pp. 219-348, 2002.

Приведенные выше оценки свидетельствуют, что потенциально возможные дозы, получаемые населением от наследия добычи урана, то есть объектов ГМЗ (хвостохранилище), малы по сравнению с дозами, получаемыми во время нахождения в зданиях от ДПР природного радона и их неприсоединенной фракции.

Выполненные ранее в ряде школ радонозащитные мероприятия оказались недостаточно эффективными. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости разработки комплексной программы по снижению эффективной дозы облучения населения, а также выполнения дополнительных радонозащитных мероприятий как в зданиях общественного назначения, так и в жилом фонде города Лермонтов Ставропольского края.

11. Корнилов А.Н., Рябчиков С.Г. Отходы уранодобывающей промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1992. 168 с.
12. Обоснование направлений совершенствования системы санитарно-гигиенического обеспечения безопасных условий труда на предприятиях, обслуживаемых ФМБА России, повышения качества оказания медицинской помощи персоналу, а также обеспечения медико-экологического благополучия в районах их расположения. Изучение гигиенических особенностей условий труда, состояния здоровья персонала предприятий атомного судостроения и судоремонта, медико-экологическая оценка природной среды и здоровья населения, проживающего в районах расположения ликвидированных и перепрофилированных объектов уранодобывающей промышленности: отчет о НИР (заключительный) ФГУП НИИ ПММ; рук. Крупкин А.Б., СПб., 2012.

Radiation-Hygienic Assessment of the Negative Impact of Natural Radiation Factors, as Well as the Consequences of the Activities of JSC «Hydrometallurgical Plant», on the Population of the Lermontov Town

Krupkin Alexander, Gusev Alexander

(Research Institute of Industry and Maritime Medicine of FMBA of Russia, St.-Petersburg, Russia)

Abstract. The article presents the results of a radiation-hygienic assessment of the contribution to the total effective radiation dose to the population of the radon-hazardous territory (town of Lermontov, Stavropol Region) of the aerosol-unattached fraction of the radon and thoron decay progeny after inhalation of them. Research on this topic was carried out in the Russian Federation for the first time. The article also assesses the possible contribution of the source of anthropogenic radioactive contamination of the surrounding area – the tailings storage facility of JSC «Hydrometallurgical Plant».

Key words: *mining and processing of uranium ores, tailings storage facility, radon and thoron, volume activity, equivalent activity, aerosol-unattached fraction of the radon decay progeny, effective radiation dose.*

А.Б.Крупкин (к.м.н., с.н.с.), А.В.Гусев (к.геогр.н., н.с.) – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства, г. Санкт-Петербург.

Контакты:

E-mail – thoron017@mail.ru; адрес для переписки: 196143 Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 65, а/я 58.