

Оценка состояния окружающей среды и эффективности реабилитационных мероприятий в районе расположения хвостохранилища

В статье приведены результаты радиационно-гигиенического обследования районов расположения хвостохранилища до и после проведения работ по его рекультивации и консервации. Полученные данные показывают, что укрытие отходов уранового производства фосфогипсом привело к значительному снижению мощности дозы гамма-излучения. Активность ^{226}Ra в инертных материалах, использованных в процессе рекультивации хвостохранилища (привозные грунты и фосфогипс), по сравнению с активностью отходов производства, невелика. Проведенные мероприятия по реабилитации и рекультивации хвостохранилища привели к существенному снижению мощности дозы внешнего гамма-излучения. Результаты исследования свидетельствуют об эффективности использования фосфогипса в качестве экрана, препятствующего поступлению радона в атмосферный воздух, и ее зависимости от способа, которым производилось укрытие. Законсервированное хвостохранилище подлежит систематическому наблюдению и периодическому радиационному контролю.

Ключевые слова:

хвостохранилища, радиационно-гигиеническое обследование, окружающая среда.

**А.Б.Крупкин, Д.В.Арефьева,
В.Б.Фирсанов, А.В.Петушок**

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

Одной из важнейших проблем на предприятиях по переработке радиоактивных руд является защита окружающей природной среды от неблагоприятного влияния хвостохранилищ, которые являются местом длительного хранения высокоактивных отходов гидрометаллургических производств. Это обусловлено тем, что хвостохранилища являются источниками радиоактивного и химического загрязнения [1,2].

Значительную потенциальную опасность для окружающей среды представляют законсервированные или захороненные хвостохранилища. Мероприятия по консервации или захоронению должны обеспечить надежную и долговременную изоляцию радиоактивных отходов, исключая загрязнение окружающей среды радионуклидами вследствие

атмосферной или водной эрозии. Однако имеющийся в отрасли опыт консервации хвостохранилищ свидетельствует, что эти объекты при определенных обстоятельствах могут стать источниками реального радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха, почвы и воды [3].

Основная опасность радиоактивного загрязнения объектов хвостохранилищ и прилегающей территории обусловлена дочерними продуктами распада урана и другими естественными радиоактивными элементами, содержащимися в отходах, поступающих на хвостохранилища [4].

Вопросы радиационно-гигиенической оценки загрязнения окружающей среды отходами уранодобывающей промышленности стали особенно актуальными за последние годы, когда в связи с отработкой того или иного месторождения возникла необходимость в ликвидации отдельных объектов добывающих и перерабатывающих предприятий, в рекультивации загрязненных территорий и мест захоронения отходов (хвостохранилищ).

Потенциальную экологическую опасность может представлять хвостохранилище предприятия, прекратившего свою деятельность. Для исключения этой опасности предусматривается консервация (захоронение) хвостохранилища такого предприятия. В общих чертах консервация проходит в несколько этапов, каждый из которых может занимать несколько лет. На первом этапе происходит сокращение 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. 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) [5].

Этапы рекультивации хвостохранилища определяют последовательность выполняемых комплексов работ. Обычно выделяют два этапа: технический (горнотехнический) и биологический. Технический этап рекультивации включает в себя подготовку хвостохранилища к последующему использованию. К нему относятся: планировка поверхности, формирование откосов, транспортировка и нанесение почв и плодородных пород на поверхность хвостохранилища, строительство дорог и т. д. Заключительным этапом консервации хвостохранилища является его реабилитация и рекультивация, призванные изолировать захороненные техногенные отходы с целью исключения их влияния на окружающую среду и население, а затем восстановление его потребительских свойств. 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.

Цель исследования

Анализ радиационной обстановки в районе расположения хвостохранилища уранодобывающего предприятия после проведения мероприятий по консервации и реабилитации.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- проведено радиационно-гигиеническое обследование хвостохранилища после проведения мероприятий по консервации и реабилитации,
- выполнен анализ результатов измерений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, удельной активности ^{226}Ra в поверхностном слое грунтов, суммарной объемной альфа-активности аэрозолей в воздухе;
- оценена эффективность мероприятий по консервации и реабилитации хвостохранилища.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись территории, прилегающие к перепрофилированным и ликвидированным объектам уранодобывающей и перерабатывающей отрасли (ЛПО «Алмаз», г. Лермонтов Ставропольского края).

Работы по консервации и реабилитации проводились на хвостохранилище предприятия после закрытия уранового производства, перепрофилированного на переработку апатита с выпуском сложных фосфорных удобрений. При перепрофилировании производства все карты хвостохранилища были укрыты слоем фосфогипса, подаваемого с завода по пульпопроводу. Ряд карт находится в процессе частичной реабилитации.

Для проведения радиационно-гигиенического обследования хвостохранилища первоначально определяли географические координаты точек измерений и отбора проб с использованием GPS навигаторов, далее выполняли измерения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения дозиметром ДКС АТ-1123. Измерения удельной активности ^{226}Ra в поверхностном слое грунтов хвостохранилища выполнено на гамма-спектрометре типа МКГБ-01. Отбор проб проводили на различных участках хвостохранилища, пробы (образцы массой около 1,5 кг) отбирали с глубин 0–5 см. Удельную актив-

ность ^{226}Ra измеряли в геометрии сосуда Маринелли объемом 1 л. Время выдержки герметично закрытых сосудов составляло 2 недели, время измерения одного образца – 1 сутки, статистическая погрешность измерений не превышала 15%.

Отбор проб воздуха в районе хвостохранилища выполняли на фильтры АФА РСП-10 с последующим измерением суммарной объемной альфа-активности аэрозолей на радиометре УМФ-2000.

Для всех показателей рассчитывали стандартную ошибку среднего значения, достоверность различий по группам с применением t -критерия Стьюдента при условии значимости $p = 0,95$.

Результаты

Результаты измерений мощности дозы гамма-излучения на территории хвостохранилища представлены в табл. 1.

Из анализа результатов, представленных в табл. 1, следует, что укрытие отходов уранового производства фосфогипсом привело к значительному (в три раза) снижению мощности дозы гамма-излучения.

Результаты исследований по определению активности ^{226}Ra в грунтах представлены в табл. 2.

При рассмотрении представленных в табл. 2 данных видно, что активность ^{226}Ra в инертных материалах, используемых в процессе рекультивации хвостохранилища (привозные грунты и фосфогипс), по сравнению с активностью отходов производства невелика.

Как известно, хвостохранилища являются источником загрязнения атмосферного воздуха радоном, в связи с чем были проведены исследования по определению плотности потока радона на различных участках хвостохранилища (табл. 3) [6, 7].

Данные табл. 3 свидетельствуют об эффективности использования фосфогипса в качестве

Табл.1. Результаты измерений мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на территории хвостохранилища.

Место проведения замеров	Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, мкЗв/ч		
	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение	Диапазон зарегистрированных значений
Дамба			
Дамба намывная, не рекультивирована, укрытие дамбы грунтами не производилось	1,81	0,36	От 1,37 до 3,21
Дамба намывная, не рекультивирована, укрытие дамбы слоем фосфогипса	0,37	0,26	От 0,15 до 0,74
Дамба полностью рекультивирована	0,17	0,04	От 0,13 до 0,28
Карты			
Карта полностью рекультивирована	0,15	0,02	От 0,12 до 0,18
Карта находится в стадии рекультивации, идет отсыпка грунта поверх слоя фосфогипса	0,13	0,02	От 0,11 до 0,14
Карта находится в стадии рекультивации, поверхность залита фосфогипсом	0,13	0,04	От 0,09 до 0,19
По периметру хвостохранилища вне дамб	0,26	0,13	От 0,11 до 0,81

экрана, препятствующего поступлению радона в атмосферный воздух, и ее зависимости от способа, которым производилось укрытие тех или иных участков.

В ходе работ, проводившихся на начальном этапе перепрофилирования хвостохранилища, определяли суммарную объемную альфа-активность аэрозолей. Через 15 лет после перепрофилирования предприятия вновь были проведены работы по определению суммарной объемной альфа-активности аэрозолей (табл.4). Многие пылящие участки пляжей и дамб, представляющие собой отходы уранового производства, к этому времени уже были укрыты фосфогипсом, одна из карт полностью рекультивирована.

Из данных, представленных в табл.4, следует, что объемная альфа-активность аэрозолей, отобранных в ближней зоне от хвостохранилища (на расстоянии до 150 м от гребня дамбы 4) в ходе работ по консервации и рекультивации хвостохранилища, не только не уменьшилась, но даже увеличилась.

Обсуждение результатов

Согласно полученным данным, мероприятия по консервации и реабилитации территории хвостохранилища уранодобывающего предприятия в целом являются эффективными. Установлено существенное снижение мощности дозы внешнего гамма-излучения по сравнению с результатами измерений, полученными до проведения работ по укрытию отходов уранового производства фосфогипсом.

Вместе с тем, необходимо учесть, что в результате укрытия фосфогипсом пляжей и последующего осушения их поверхностей общая площадь участков, с которых происходит сдувание пыли, увеличилась почти в семь раз. Кроме того, если в период переработки урановых руд на предприятии серьезное внимание уделялось увлажнению поверхностей дамб (с целью уменьшения дефляции), то в период перепрофилирования хвостохранилища и рекультивации ряда его карт противодефляционные мероприятия не проводились. Это могло стать причиной увеличения объемной альфа-активности аэрозолей в ближней зоне от хвостохранилища.

Табл.2. Результаты измерений удельной активности ^{226}Ra в поверхностном слое грунтов хвостохранилища.

Место отбора проб	Удельная активность ^{226}Ra , Бк/кг	
	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение
Отходы уранового производства (дамба 1)	5950,00	Нет данных
Фосфогипс	135,67	159,86
Участок на стадии рекультивации (отсыпка грунта поверх фосфогипса)	123,00	119,20
Рекультивированный участок	140,00	182,00
Склон 4 дамбы (укрыт слоем грунта толщиной около 20 см, фосфогипсом не укрывался)	860,00	Нет данных

Табл.3. Эксхалиция радона с различных участков перепрофилированного хвостохранилища.

Характеристика места измерения	Эксхалиция радона, Бк/(м ² с)	
	Среднее значение	Среднеквадратичное отклонение
Дамба намывная, пески крупнодисперсные, не рекультивирована, производилось укрытие поверхности дамбы слоем грунта толщиной в 20–30 см	1,73	1,65
Карта полностью рекультивирована	0,69	0,46
Дамба намывная, пески мелкодисперсные, гребень дамбы укрыт слоем фосфогипса	0,29	0,29
Карта находится в стадии рекультивации, поверхность залита фосфогипсом	0,01	0,01

Основным потенциальным загрязнителем первого водоносного горизонта района хвостохранилища являются фильтрационные воды. Загрязнения поверхностных вод сточными водами наблюдались в первые годы работы хвостохранилища, в условиях сброса дебалансовых вод на рельеф. С 1959 г. содержание радиоактивных элементов в сбросном лотке не превышало 0,14 мг/л, а концентрации естественных радионуклидов в ранее загрязнившихся водоемах снизились до уровней в несколько раз меньше нормативов. Стоит отметить, что проведенное изучение радиоактивности почв в районе хвостохранилища не выявило каких-либо особенностей в характере загрязнения почвенных горизонтов по водотоку и вне его. Возможно, это связано с тем, что участки, загрязненные в начальный период существования производства, оказа-

лись закрыты в процессе дальнейшего расширения хвостохранилища.

По результатам выполнения серии исследований получен значительный объем данных о содержании различных веществ в грунтовых водах. Эти материалы относятся как к скважинам, предназначенным для контроля за выносом веществ из хвостохранилища, так и к другим скважинам, имеющимся в данном регионе, в первую очередь, расположенным в районе ликвидированных рудников [8,9].

Анализ результатов определения различных химических веществ и радионуклидов в воде режимных скважин позволил сделать вывод о том, что влияние хвостохранилища на концентрацию веществ в грунтовых водах на расстоянии большем, чем 500 м от дамб, не прослеживается (это минимальное расстояние от хвостохранилища до режимных скважин).

Табл.4. Результаты измерений суммарной объемной альфа-активности аэрозолей в районе хвостохранилища.

Место отбора проб воздуха		Суммарная объемная альфа-активность аэрозолей, мБк/м ³	
		Среднее значение	Диапазон зарегистрированных значений
Начальный этап репрофилирования хвостохранилища	гребень дамбы	0,21	От 0,10 до 0,51
	100 м	0,10	От 0,06 до 0,14
	500 м	0,24	От 0,14 до 0,66
Через 15 лет после репрофилирования хвостохранилища	150 м	0,57	От 0,20 до 2,70

Содержание радионуклидов в дренажных водах и в воде прудка хвостохранилища в настоящий момент практически не отличается от аналогичного показателя грунтовых вод режимных скважин, включая контрольные скважины.

Выводы

На основании результатов исследования радиационной обстановки в районе расположения хвостохранилища уранодобывающего предприятия после проведения мероприятий по консервации и реабилитации сделаны следующие выводы:

- 1) проведенные мероприятия по консервации и реабилитации территории хвостохранилища в целом являются эффективными;
- 2) уровни мощности AMBIENTНОГО эквивалента дозы гамма-излучения после проведения работ по укрытию дамбы слоем фосфогипса

снизились в шесть раз, после проведения работ по рекультивации дамбы – еще в два раза;

3) снижение уровней эксхалации радона и мощности гамма-излучения вследствие укрытия пляжей и дамб хвостохранилища фосфогипсом позволяет рекомендовать его в качестве укрывного материала на начальном этапе рекультивации;

4) увеличение объемной альфа-активности аэрозолей в ближней зоне от хвостохранилища, зарегистрированное через 15 лет после репрофилирования предприятия, является следствием увеличения общей площади участков пылеобразования в результате осушения поверхности пляжей и дамб хвостохранилища;

5) законсервированное хвостохранилище подлежит систематическому наблюдению и периодическому радиационному контролю для выявления возможного негативного воздействия на окружающую среду.

Литература

1. Корнилов А.Н. Гигиеническая оценка и некоторые закономерности формирования радиоактивного загрязнения внешней среды при добыче и переработке урановых руд. Диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук. Л., 1970.
2. Корнилов А.Н., Ковыгин Г.Ф. Санитарно-дозиметрический контроль внешней среды на предприятиях добычи и переработки урановых руд // В кн. «Вопросы гигиены труда на урановых рудниках и обогатительных предприятиях». М.: Атомиздат, 1971. С. 103-106.

3. Погорельцева Е.И. Исследование гидрохимического режима альб-сеноманского водоносного горизонта в зоне влияния объектов ОАО «Стойленский ГОК». Белгород, 2018.
4. Корнилов А.Н., Рябчиков С.Г. Отходы уранодобывающей промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1992. 168 с.
5. Руководство по безопасности РБ-078-12. Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации (закрытии) хвостохранилищ. Утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27 декабря 2012 г. 787 с.
6. Бобоев Б.Д., Хакимов Н., Назаров Х.М., Рахматов Н.Н. Уровень загрязнения радоном воздуха г. Истиклола Республики Таджикистан // ДАН РТ. 2013. N 4.
7. Назаров Х.М., Бобоев Б.Д., Эрматов К.А. Оценка радоноопасности территории Дигмайского хвостохранилища // XXI век. Техносферная безопасность. 2017. Т. 2. N 3.
8. Назаров Х.М. и др. Оценка потенциальной радиационной опасности хвостохранилища Дигмай (Таджикистан) для населения, проживающего вокруг него // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12. N 1. С. 115-121.
9. Шоганбекова Д.А., Мусаев З.М. Экологическое состояние промышленной зоны Степногорска // StudNet. 2021. Т. 4. N 6. С. 2048-2066.

Radiation-Hygienic Assessment of the State of the Environment and the Effectiveness of Rehabilitation Measures in the Area of the Tailing Dump

Krupkin Alexander, Arefieva Daria, Firsanov Vladimir, Petushok Aleksandra (Research institute industrial and maritime medicine of Federal medical Biological agency, Saint Petersburg, Russia)

Abstract. The article presents the data of the radiation-hygienic survey of the areas where the tailing dump is located before and after the work on reclamation and conservation. The data obtained show that the shielding of uranium production wastes with phosphogypsum led to a significant decrease in the dose rate of gamma radiation. The activity of ^{226}Ra in inert materials used in the process of reclamation of the tailing dump (imported soils and phosphogypsum) is low compared to the activity of production wastes. The measures taken to rehabilitate the territory of the tailing dump resulted in 12-fold reduction of external gamma-radiation dose rate. The results of the study show the effectiveness of using phosphogypsum as a shield that prevents radon from entering the atmospheric air, and its dependence on the way in which certain areas were sheltered. The mothballed tailings dump is subject to systematic monitoring and periodic radiation control.

Key words: *the tailing dump, radiation-hygienic research, environment.*

А.Б.Крупкин (к.м.н., с.н.с.), Д.В.Арефьева (и.о. зав.лаб.), В.Б.Фирсанов (инж.), А.В.Петушок (м.н.с.) – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «НИИ промышленной и морской медицины» Федерального медико-биологического агентства, г. Санкт-Петербург.

Контакты: тел. +7 (812) 415-94-31; e-mail: niipmm.210@gmail.com.