

Радиоэкологические аспекты управления хвостохранилищами урановой промышленности Таджикистана

Мирсаидов У.¹, Назаров Х.М.², Мирсаидзода И.¹, Саидзода В.Я.¹, Азизов О.А.¹

¹ Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности
Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

² Филиал Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности
Национальной академии наук Таджикистана в Согдийской области, Бустон, Таджикистан

Люди и окружающая среда в настоящее время и в будущем должны быть защищены от радиационных рисков. В связи с этим целью данной работы стало обобщение существующих данных о хвостохранилищах урановой промышленности Таджикистана и разработка научно обоснованных радиационно-гигиенических подходов к обращению с низкоактивными радиоактивными отходами. Задачей исследования являлся анализ формирования радиоактивных хвостохранилищ на территории Таджикистана. Материалы и методы: Информационной базой исследования послужили результаты ранее выполненных научных работ. Рассмотрены основные характеристики хвостохранилищ, а также показатели их радиационного воздействия на окружающую среду. Особое внимание уделено вопросам категоризации и паспортизации радиоактивных отходов. Радиационный мониторинг осуществлялся с использованием современных измерительных приборов и оборудования производства Российской Федерации («Доза»), Республики Беларусь («Атомтех»), США («Canberra») и Германии («Thermo»). Результаты исследования и обсуждение: Выявлены существующие радиоэкологические риски в зонах расположения незаконсервированных хвостохранилищ. Рассмотрены радиационно-гигиенические требования к обеспечению радиационной безопасности промышленных отходов. Отмечено, что проведенные рекультивационные работы на объектах г. Истиклола имеют существенную практическую значимость, поскольку обеспечили снижение радиационного фона до нормативного уровня (0,3 мкЗв/ч), уменьшили техногенную нагрузку на окружающую среду и повысили экологическую безопасность населения. Заключение: Перспективными направлениями являются продолжение рекультивации проблемных участков, включая хвостохранилище цеха № 3 бывшего гидрометаллургического завода, реализация проекта по восстановлению Дигмайского хвостохранилища с демонтажем загрязнённой инфраструктуры, принятие мер по обеспечению безопасности Адрасманского хвостохранилища, а также внедрение государственной программы безопасного управления урановым наследием с системой долгосрочного радиоэкологического мониторинга. Комплексная реализация указанных мероприятий обеспечит дальнейшее снижение радиационных и экологических рисков, создаст основу для безопасного и устойчивого развития территории, а также позволит обеспечить её безопасное дальнейшее использование.

Ключевые слова: урановая промышленность, хвостохранилища, радионуклиды, радиоэкология, радиационный риск, Таджикистан, радиационная безопасность, рекультивация.

Введение

Переработка урана сопряжена с образованием радиоактивных отходов, которые требуют безопасного хранения в течение долгих лет. Образование радиоактивных отходов на территории Таджикистана произошло во второй половине XX века. На сегодняшний день объем отходов, образовавшихся в результате добычи и переработки урановых руд, оценивается примерно в 55 млн тонн и размещен в 10 хвостохранилищах общей площадью порядка 170 га. Практически все ключевые объекты уранового наследия локализованы в Согдийской области Таджикистана, в горной местности, в непосредственной близости от населенных пунктов Истиклол, Гафуров, Худжанд, Бустон и Адрасман [1–4].

Наиболее крупные и экологически значимые объекты сосредоточены в районах г. Истиклола и Дигмайского хвостохранилища, содержащего десятки миллионов тонн отходов уранового производства. Несмотря на проведение отдельных рекультивационных мероприятий в последние

годы, включая снижение уровней гамма-излучения до фоновых значений на ряде объектов, проблема радиационного наследия остается актуальной и требует долгосрочного мониторинга и комплексных защитных мер.

Следует отметить, что в настоящее время объем доступной информации, касающейся категоризации и паспортизации радиоактивных отходов уранового производства, является недостаточным. Сложившаяся ситуация требовала всестороннего изучения и анализа.

Цель исследования – обобщение имеющихся данных, связанных с хвостохранилищами урановой промышленности Таджикистана, и обоснование радиационно-гигиенических подходов к обращению с низкоактивными отходами.

Объекты исследования – хвостохранилища урановой промышленности Таджикистана.

Предмет исследования – радиоэкологические процессы, миграция радионуклидов, паспортизации, методы управления и мониторинга.

Назаров Холмурод Марипович

Филиал Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности в Согдийской области

Адрес для переписки: 735730, Таджикистан, г. Бустон, ул. Б. Гафурова, 1А; E-mail: holmurod18@mail.ru

История формирования радиоактивных хвостохранилищ на территории Таджикистана

С началом промышленной переработки урановых руд на территории Таджикистана стало формироваться значительное количество хвостохранилищ радиоактивных отходов. В 1945-1949 гг. ураноперерабатывающие предприятия были введены в эксплуатацию в Табашаре (ныне г. Истиклол), Адрасмане, Бободжон Гафуровском районе, а также в г. Чкаловске (ныне г. Бустон), где располагался крупнейший завод [5, 6].

В поселке Адрасман в период с 1941 по 1957 год до остановки гидрометаллургического завода (ГМЗ) было создано шесть хвостохранилищ, каждое из которых содержало от 60 до 100 тыс. тонн отходов. В конце 1970-х годов они были объединены в единое хвостохранилище № 2 площадью около 2,5 га с суммарным объемом отходов порядка 400 тыс. тонн [7].

Гафуровское хвостохранилище эксплуатировалось в 1942-1955 гг., занимает около 5 га и содержит аналогичный объем отходов [4].

Хвостохранилище «Карты 1-9», включающее девять карт, сформировано на площади 18 га и аккумулирует около 4 млн тонн радиоактивных отходов [4].

Значительные объемы радиоактивных отходов сосредоточены в пределах г. Истиклола, где в результате деятельности горнодобывающих и перерабатывающих предприятий размещены отвалы горных пород, площадки кучного выщелачивания, отвала «Фабрики бедных руд», хвостохранилища и остатки промышленных сооружений. Со-

вокупная площадь хвостохранилищ и отвалов забалансовых руд в данном районе составляет около 63 га. Подробное описание истории формирования радиоактивного загрязнения промплощадки «Табашар» приведено в работах [8, 9].

Крупнейшим объектом накопления радиоактивных отходов является Дигмайское хвостохранилище, введенное в эксплуатацию в 1963 г. Оно занимает площадь около 90 га и содержит порядка 20 млн тонн отходов урановых руд, около 500 тыс. тонн забалансовой урановой руды, а также 5,7 млн тонн отходов переработки ванадийсодержащего сырья с суммарной активностью 156 ТБк. Хвостохранилище заполнено примерно на 83 % проектной емкости и в настоящее время остается действующим [10].

В работе Рахматова Н.Н. отмечается, что дополнительными источниками радиационного воздействия являются отвалы и дренаж шахтных вод в окрестностях г. Худжанда. Отвалы штолен бывшего Рудника № 3 расположены примерно в 2 км от жилой застройки города на склонах предгорья горы Моголтау. Шахты эксплуатировались в период 1976-1985 гг., а общая площадь отвалов составляет около 6 га [11].

В 2004 году Агентством по ядерной и радиационной безопасности Национальной академии наук Республики Таджикистан были оформлены паспорта указанных радиоактивных хвостохранилищ Таджикистана [12]. В 2024 году в них были внесены уточнения и дополнения. Обобщенные сведения о радиоактивных хвостохранилищах Таджикистана представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сведения о радиоактивных хвостохранилищах Таджикистана [4, 12]
[Table 1. Information about radioactive tailing ponds in Tajikistan] [4, 12]

Наименование объекта и его место расположения [Name of the object and its location]	Период эксплуатации [Period of operation]	Тип хвостохранилища [Type of tailings pond]	Способ укладки хвостов [Method of laying tails]	Кол-во отходов, млн тонн [Amount of waste, million tons]	Площадь, га [Area, ha]	Высота дамбы, м [Dam height, m]	Слой грунтового покрытия, м [Primer layer, m]
Адрасманское хвостохранилище, пос. Адрасман, 1,0 км [Adrasman tailing pond, Adrasman village, 1.0 km]	1945–1955 гг.	овражный [ravine]	насыпной [bulk]	0,4	3,2	14	0,3 – 0,5
Гафуровское хвостохранилище, г. Гафуров, 0,5 км [Gafurov tailing pond, Gafurov city, 0.5 km]	1945–1950 гг.	равнинный [flat]	намывной [alluvial]	0,4	5	–	2,4 – 2,5
Дигмайское хвостохранилище, пос. Газиен, 1,5 км [Digmay tailing pond, Gaziyon village, 1.5 km]	1963–1991 гг.	овражный [ravine]	намывно-наливной [alluvial-filling]	36	90	35	отсутствует [absent]
Отвалы «Фабрика бедных руд», г. Истиклол, 4,0 км [Waste ponds of the "Poor Ore Factory", Istiklol city, 4.0 km]	1950–1965 гг.	овражно-равнинный [ravine-plain]	насыпной [bulk]	2,0	14,5	–	1,0 – 1,5
Хвостохранилище I-II очереди, г. Истиклол, 2,0 км [Tailings ponds of the I-II stages, Istiklol city, 2.0 km]	1945–1959 гг.	овражный [ravine]	намывной [alluvial]	1,59	15,7	16	1,0 – 1,5
Хвостохранилища III очереди, г. Истиклол, 0,5 км [Tailing pond of the III stage, Istiklol city, 0.5 km]	1947–1963 гг.	овражный [ravine]	намывной [alluvial]	1,8	8,7	14	1,0 – 1,5

Наименование объекта и его место расположение [Name of the object and its location]	Период эксплуатации [Period of operation]	Тип хвостохранилища [Type of tailings pond]	Способ укладки хвостов [Method of laying tails]	Кол-во отходов, млн тонн [Amount of waste, million tons]	Площадь, га [Area, ha]	Высота дамбы, м [Dam height, m]	Слой грунтового покрытия, м [Primer layer, m]
Хвостохранилище IV очереди, г. Истиклол, 1,0 км [Tailing pond of the IV stage, Istiklol city, 1.0 km]	1949–1965 гг.	овражный [ravine]	намывной [alluvial]	4,13	17,1	18	1,0 – 1,5
Хвостохранилище цеха № 3, г. Истиклол, 3,0 км [Tailings pond of the plant No.3, Istiklol city, 3.0 km]	1949–1965 гг.	овражно-равнинный [ravine-plain]	насыпной [bulk]	1,17	2,86	–	0,5 – 0,7
Хвостохранилища «Карты 1-9», г. Бустон, 2,0 км [Tailing pond "Maps 1-9", Buston city, 2.0 km]	1949–1967 гг.	равнинный [flat]	намывной [alluvial]	4,0	18	–	1,0 – 1,5
Рудник-3, г. Худжанд, 2,0 км [Mine-3, Khujand city, 2.0 km]	1976–1985 гг.	косогорный [hillside]	насыпной [bulk]	0,36	5,9	–	0,5 – 0,7

Характеризация площадки необходима для получения достаточного объема исходных данных, обеспечивающих принятие обоснованных стратегических решений на ранних этапах. Результаты характеризации используются при формировании рациональной стратегии разработки программ мониторинга для конкретной площадки, а также при оценке безопасности реабилитационных проектов, планов радиационной защиты, планов обращения с отходами и иной документации по реабилитации. Для установления факта наличия или отсутствия загрязнения программа характеризации должна в первую очередь определить характер и уровень загрязнения. Мероприятия по характеризации площадки проводятся с целью оценки рисков, связанных с загрязнением, и определения параметров, необходимых для выбора оптимальной технологии реабилитации. В соответствии с действующими правилами должны быть сформулированы цели сбора данных с учетом соответствующих неопределенностей.

Результаты анализа радиоактивности хвостовых материалов всех хвостохранилищ уранового производства Таджикистана свидетельствуют о низком уровне их активности. Как следует из данных работ авторов [13–17], активность хвостовых материалов варьируется от 5,92 ТБк (Адрасманское хвостохранилище) до 156,06 ТБк (Дигмайское хвостохранилище). Обобщенная радиоэкологическая характеристика радиоактивных хвостохранилищ Таджикистана представлена в таблице 2.

Радиационная обстановка на хвостохранилищах и в зонах их воздействия

Результаты анализа радиоактивности хвостовых материалов всех хвостохранилищ уранового производства Таджикистана свидетельствуют о низком уровне их активности. Как следует из данных работ авторов [13–17], активность хвостовых материалов варьируется от 5,92 ТБк (Адрасманское хвостохранилище) до 156,06 ТБк (Дигмайское хвостохранилище). Обобщенная радиоэкологическая характеристика радиоактивных хвостохранилищ Таджикистана представлена в таблице 2.

Таблица 2. Радиоэкологическая характеристика радиоактивных хвостохранилищ Таджикистана
[Table 2. Radioecological characteristics of radioactive tailing ponds in Tajikistan]

Объект [Object]	Радиоэкологический фактор [Radioecological factor]	Естественное фон [Natural background]	Значения [Values]	
			среднее [average]	интервал [interspace]
Адрасманское хвостохранилище [Adrasman tailing pond]				
Воздух [Air]	ЭРОА радона, Бк/м³ [Radon EEC, Bq/m³]	1,8	7,02	2,3 – 10
	ППР, мБк/(м²·с) [RER, mBq/(m²·s)]	16	460	160 – 720
Почва [Soil]	Суммарная α-активность ЕРН, Бк/кг [Gross α-activity NRN, Bq/kg]	220	1100	1070 – 5986
Хвосты [Tailings]	МАЭД гамма-излучения, мкЗв/ч [ADER of gamma radiation, μSv/h]	0,15	0,30	0,2 – 1,25
	A _{эфф.} ЕРН, Бк/кг [A _{эфф.} NRN, Bq/kg]	750	14800	1100 – 27300
	Суммарная активность, ТБк [Total activity, TBq]		5,92	
Гафуровское хвостохранилище [Gafurov tailing pond]				
Воздух [Air]	ЭРОА радона, Бк/м³ [Radon EEC, Bq/m³]	1,8	33	22 – 33
	ППР, мБк/(м²·с) [RER, mBq/(m²·s)]	16	300	220 – 830

Объект [Object]	Радиоэкологический фактор [Radioecological factor]	Естественное фон [Natural background]	Значения [Values]	
			среднее [average]	интервал [interspace]
Хвосты [Tailings]	МАЭД гамма-излучения, мкЗв/ч [ADER of gamma radiation, $\mu\text{Sv/h}$]	0,15	0,17	0,15 – 0,20
	$A_{\text{эфф}}$ ЕРН, Бк/кг [$A_{\text{эфф}}$ NRN, Bq/kg]	85,2	6693	200 – 15200
	Суммарная активность, ТБк [Total activity, TBq]		6,85	
Дигмайское хвостохранилище [Digmay tailing pond]				
Воздух [Air]	ЭРОА радона, Бк/м ³ [Radon EEC, Bq/m ³]	1,8	109	10,3 – 464,1
	ППР, мБк/(м ² ·с) [RER, mBq/(m ² ·s)]	20	6200	2100 – 17890
	Суммарная α -активность ЕРН, Бк/м ³ [Gross α -activity NRN, Bq/m ³]	0,00036	0,0035	0,0007 – 0,0029
Вода из наблюда- тельных скважин [Water from observa- tion wells]	Удельная активность ²²⁶ Ra, Бк/л [Activity concentration ²²⁶ Ra, Bq/l]	0,007	0,15	0,07 – 0,36
Почва [Soil]	Суммарная α -активность ЕРН, Бк/кг [Gross α -activity NRN, Bq/kg]	212	56880	900 – 13500
Хвосты [Tailings]	МАЭД гамма-излучения, мкЗв/ч [ADER of gamma radiation, $\mu\text{Sv/h}$]	0,15	5,24	4 – 20
	$A_{\text{эфф}}$ ЕРН, Бк/кг [$A_{\text{эфф}}$ NRN, Bq/kg]	30,3	17597	8492 – 27631
	Суммарная активность, ТБк [Total activity, TBq]		156,06	
Отвалы «Фабрика бедных руд» [Waste ponds of the "Poor Ore Factory"]				
Воздух [Air]	ЭРОА радона, Бк/м ³ [Radon EEC, Bq/m ³]	1,92	17	16 – 92
	ППР, мБк/(м ² ·с) [RER, mBq/(m ² ·s)]	90	900	860 – 1060
	Суммарная α -активность ЕРН, Бк/м ³ [Gross α -activity NRN, Bq/m ³]	0,00085	0,0012	0,0008 – 0,0032
Отвалы горных пород [Rock dumps]	Суммарная α -активность ЕРН, Бк/кг [Gross α -activity NRN, Bq/kg]	220	1345	1260 – 1455
	МАЭД гамма-излучения, мкЗв/ч [ADER of gamma radiation, $\mu\text{Sv/h}$]	0,17	0,78	0,4 – 1,38
Отвалы «Фабрика бедных руд» [Waste ponds of the "Poor Ore Factory"]	МАЭД гамма-излучения, мкЗв/ч [ADER of gamma radiation, $\mu\text{Sv/h}$]	0,17	0,30	0,17 – 0,65
	$A_{\text{эфф}}$ ЕРН, Бк/кг [$A_{\text{эфф}}$ NRN, Bq/kg]	1200	2355	1480 – 3230
	Суммарная активность, ТБк [Total activity, TBq]		9,36	
Хвостохранилища I-II очереди [Tailings ponds of the I-II stages]				
Воздух [Air]	ЭРОА радона, Бк/м ³ [Radon EEC, Bq/m ³]	1,92	2,57	2,0 – 6,04
	ППР, мБк/(м ² ·с) [RER, mBq/(m ² ·s)]	90	3800	2560 – 4020
Дренажная вода [Drainage water]	Удельная активность ²²⁶ Ra, Бк/л [Activity concentration ²²⁶ Ra, Bq/l]	0,037	0,175	0,16 – 0,21
Хвосты [Tailings]	МАЭД гамма-излучения, мкЗв/ч [ADER of gamma radiation, $\mu\text{Sv/h}$]	0,20	0,26	0,20 – 0,38
	$A_{\text{эфф}}$ ЕРН, Бк/кг [$A_{\text{эфф}}$ NRN, Bq/kg]	1200	6485	5460 – 8500
	Суммарная активность, ТБк [Total activity, TBq]		8,07	
Хвостохранилища III-IV очереди [Tailings ponds of the III-IV stages]				
Воздух [Air]	ЭРОА радона, Бк/м ³ [Radon EEC, Bq/m ³]	1,92	5,6	3,0 – 8,78
	ППР, мБк/(м ² ·с) [RER, mBq/(m ² ·s)]	90	4800	3560 – 5900

Объект [Object]	Радиоэкологический фактор [Radioecological factor]	Естественное фон [Natural background]	Значения [Values]	
			среднее [average]	интервал [interspace]
Почва [Soil]	Суммарная α -активность ЕРН, Бк/кг [Gross α -activity NRN, Bq/kg]	220	4126	1370 – 84117
Хвосты [Tailings]	МАЭД гамма-излучения, мкЗв/ч [ADER of gamma radiation, μ Sv/h]	0,17	0,28	0,18 – 0,36
	$A_{\text{эфф}}$ ЕРН, Бк/кг [$A_{\text{эфф}}$ NRN, Bq/kg]	1200	9759	1583 – 28134
	Суммарная активность, ТБк [Total activity, TBq]		27,45	
Хвостохранилище «Карты 1-9» [Tailing pond "Maps 1-9"]				
Воздух [Air]	ЭРОА радона, Бк/м ³ [Radon EEC, Bq/m ³]	1,8	23	7 – 23
	ППР, мБк/(м ² ·с) [RER, mBq/(m ² ·s)]	16	940	630 – 1250
Почва [Soil]	Суммарная α -активность ЕРН, Бк/кг [Gross α -activity NRN, Bq/kg]	85,2	1050	912 – 6598
Хвосты [Tailings]	МАЭД гамма-излучения, мкЗв/ч [ADER of gamma radiation, μ Sv/h]	0,18	0,45	0,4 – 0,6
	$A_{\text{эфф}}$ ЕРН, Бк/кг [$A_{\text{эфф}}$ NRN, Bq/kg]	1200	4956	390 – 19230
	Суммарная активность, [ТБк Total activity, TBq]		28,82	

ЭРОА радона – эквивалентная равновесная объемная активность радона [Radon EEC – radon equilibrium equivalent concentration];

ППР – плотности потока радона [RER – radon exhalation rate];

ЕРН – естественные радионуклиды (²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th, ²²⁸Th, ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po) [NRN – natural radionuclides (²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁰Th, ²²⁸Th, ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po)];

МАЭД гамма-излучения – мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения [ADER of gamma radiation – ambient dose equivalent rate of gamma radiation].

Из таблицы 2 видно, что большинство показателей превышает фоновые значения. Средний радиационный фон над хвостохранилищами и в их окрестностях в 6-8 раз превышает естественный уровень и составляет 0,2-1,25 мкЗв/ч (Адрасманское хвостохранилище), 4-20 мкЗв/ч (Дигмайское хвостохранилище). Это связано с тем, что отдельные хвостохранилища не имеют достаточного поверхностного покрытия либо оно, полностью отсутствует (например, Дигмайское хвостохранилище), а в ряде случаев наблюдается нарушение или смыл хвостового материала (Адрасманское хвостохранилище). Кроме того, расстояние от объекта до населенных пунктов и источников водоснабжения является минимальным, а также имеет место проницаемость защитных барьеров объекта и ряд других факторов.

Согласно данным авторов [18], при оценке доз облучения по водному пути учитывалась исключительно удельная активность естественных радионуклидов (²³⁸U, ²³⁴U, ²²⁶Ra) в водной среде. Такой подход является обоснованным, поскольку вклад указанных радионуклидов в суммарную дозу облучения по водному пути, как правило, составляет 95–99 %. В связи с этим содержание ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po, ²³⁰Th и ²²⁸Th при расчете доз по водному пути не принималось во внимание.

По хвостохранилищам г. Истиклола.

Дополнительно проведенный анализ концентрации

урана в водных объектах, расположенных на промплощадке г. Истиклола, показал, что её значения варьируются в пределах от 1,26 до 50,8 мг/дм³. При этом воды карьерных выработок, дренажи штолен, а также хвостохранилища радиоактивных отходов I–II очередей г. Истиклола характеризуются удельной активностью урана-238 в пределах от 15 до 26 Бк/кг, существенно превышающей уровни вмешательства, что исключает возможность их использования в целях водоснабжения. Уровень вмешательства составляет 3,1 Бк/кг¹.

Следует отметить, что использование для питья дренажных и шахтных вод с высокими уровнями загрязнения в г. Истиклоле местным населением может привести к превышению предела дозы в 1 мЗв/год. Например, годовые дозы облучения за счет использования шахтной воды для питья составляют от 0,82 мЗв/год до 1,30 мЗв/год, для полива – от 0,07 мЗв/год до 0,11 мЗв/год, а за счет использования воды из уранового карьера для питья – от 0,94 мЗв/год до 1,70 мЗв/год.

По Адрасманскому хвостохранилищу

По данным радиационного мониторинга, проведенного Мирсаидовым У.М. и др., вынос хвостового материала из тела хвостохранилища в окружающую среду характеризуется негативной динамикой и способствует росту радиационного риска [19].

По дренажу шахтных вод в районе г. Худжанда

На сегодняшний день из штолен уранового месторождения Киик-Тал продолжается истечение урансодержащих вод

¹ Нормы радиационной безопасности (НРБ-06) СП 2.6.1.001-06: зап. 16.01.2007 г. Душанбе: Минюст Республики Таджикистан, 2007. 172 с. [Radiation Safety Norms (NRB-06) SP 2.3.1.001-06: regist. 16.01.07. Dushanbe: Ministry of Justice of Republic of Tadjikistan; 2007. 172 p. (In Russ.)]

с концентрацией около 20 мг/дм^3 и расходом $4,1\text{--}4,6 \text{ м}^3/\text{ч}$, которые на протяжении длительного времени оказывают загрязняющее воздействие на окружающую среду [11].

Радиоэкологические риски в зоне влияния радиоактивных хвостохранилищ

В настоящее время радиоэкологические риски рассматриваются как один из базовых инструментов комплексной оценки состояния окружающей среды, в том числе в рамках экологического нормирования, предусматривающего регулирование как концентраций загрязняющих веществ в компонентах природной среды, так и степени их антропогенной трансформации [20, 21].

Для Дигмайского хвостохранилища

Для хранилища характерен комплекс радиоэкологических рисков, которые на протяжении длительного времени оказывают негативное воздействие на экосистемы прилегающей территории. После прекращения деятельности гидрометаллургического завода в 1996 г., а также вследствие засушливых климатических условий, вода с зеркальной поверхности хвостохранилища испарилась, при этом часть водных масс дренировалась вниз по рельефу местности. В результате на поверхности хвостохранилища образовались большие трещины, так называемые «такры», шириной до 1 м и глубиной более 4 м, что привело к формированию здесь высокой эксгаляции ^{222}Rn (объемная активность в приземном слое воздуха – $540\text{--}2500 \text{ Бк/м}^3$) [22].

В работах [19, 23] отмечено, что основными факторами радиационного риска являются гамма-излучение, ингаляционное поступление радиоактивных аэрозолей, а также высокое содержание радона в воздухе. Среднее значение плотности потока радона находится в пределах от 10000 до $65000 \text{ мБк}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$, а годовое поступление радона в атмосферу составляет больше чем 30 ТБк. Значения МАЭД на территории хвостохранилища находятся в пределах $4\text{--}20 \text{ мкЗв/ч}$.

По хвостохранилищам г. Истиклола

Особую проблему комплекса захоронений в г. Истиклоле представляют дренажи остаточных кислотных растворов, которые выклиниваются в виде родников из-под мест захоронений. В частности, в роднике у подножья хвостохранилища I-II очереди. Концентрация сульфат-ионов составляет $9200\text{--}9600 \text{ мг/л}$, карбонатных оснований 18 мг/л [24].

Оценка наличия загрязненных участков и необходимости проведения реабилитационных мероприятий осуществляется с учетом текущего целевого использования территории, включая прилегающие зоны. Площадка не считается загрязненной, если удельная активность всех радионуклидов рядов урана-238 и тория-232 не превышает 1 Бк/г , независимо от характера, площади и способа использования земель.

С учетом категорий опасности вышеуказанных радиоактивных хвостохранилищ и степени исходящей от них угрозы определен следующий приоритетный порядок проведения мероприятий на радиационно-опасных объектах:

1. Отвалы «Фабрики бедных руд» относятся к 1, 2 и 3 категориям опасности. Уровень естественного разрушения – высокий. Опасность объекта обусловлена наличием непокрытых поверхностей, отсутствием ограждений, расположением выше русла реки, неконтролируемыми эрозионными процессами (водная эрозия, сели, оползни), выделением радона, радиационным воздействием и распространением радиоактивной пыли.

2. Дигмайское хвостохранилище также относится к 1, 2 и 3 категориям опасности. Уровень естественного разрушения также высокий. Угроза обусловлена отсутствием покрытия поверхности, частичным отсутствием ограждений, расположением на расстоянии около 1,5 км выше населенного пункта и выше реки Сырдарья, процессами почвенного сползания и селями, структурным разрушением, выделением радона, радиационным воздействием и распространением радиоактивной пыли.

3. Адрасманское хвостохранилище относится к 2 и 3 категориям опасности. Уровень естественного разрушения – средний. Опасность связана с отсутствием ограждений, близостью населенного пункта, водной эрозией и водосмывом, частичным отсутствием защитного покрытия, расположением выше по течению реки и населенного пункта, выделением радона и наличием дренажных вод.

4. Хвостохранилище цеха № 3 (г. Истиклол) также относится к 2 и 3 категориям опасности. Уровень естественного разрушения оценивается как средний. Источниками опасности являются расположение объекта в пределах городской застройки, водная эрозия и водосмыв, отсутствие ограждений, а также влияние шахтных вод.

5. Остальные радиоактивные хвостохранилища характеризуются более низким уровнем опасности, поскольку их поверхности покрыты нейтральным грунтом.

В ходе выполненных мониторинговых работ Мирсаидовым У. и соавт. проанализировано состояние здоровья населения, проживающего вблизи хвостохранилищ. Установлено, что ряд медико-демографических показателей в северных районах Таджикистана хуже по сравнению с другими регионами. В частности, отмечаются сниженные показатели рождаемости, повышенные уровни общей и младенческой смертности, а также высокая заболеваемость болезнями крови, органов дыхания, эндокринной системы, осложнениями беременности и врожденными аномалиями у новорожденных. В населенных пунктах, расположенных вблизи хвостохранилищ (Истиклол, Бустон, Адрасман, Дигмай), указанные тенденции выражены наиболее отчетливо [19].

Комплекс мероприятий, направленных на снижение радиоэкологического воздействия радиоактивных хвостохранилищ урановой промышленности

По итогам проведенного анализа определены ключевые радиоэкологические риски для всех урановых хвостохранилищ, расположенных на территории Северного Таджикистана. Выявленные риски систематизированы и ранжированы по уровню опасности, а также разработан комплекс мероприятий, направленных на снижение их негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

Экологическая реабилитация хвостохранилищ с урановыми отходами на территории г. Истиклола (Таджикистан) представляет собой актуальную задачу, учитывая высокую концентрацию объектов уранового наследия в регионе, включая хвостохранилища, отходы и отвалы. Общий объем накопленных материалов составляет около 15 млн тонн хвостов и 50 млн тонн забалансовых руд, образовавшихся в период с 1945 по 1965 год при переработке урановой руды на промплощадке «Табошар». В 1973–1975 гг. хвостохранилища I-IV очереди г. Истиклола были законсервированы: поверхность и откосы покрыли слоем местного крупнообломочного грунта с супесчаным заполнителем толщиной

до 1 м. Тем не менее, такое покрытие является недостаточно эффективным, поскольку не препятствует доступу кислорода и проникновению атмосферных осадков в тела хвостохранилищ, что сохраняет риск негативного воздействия на окружающую среду [12].

Для уменьшения рисков радиационного воздействия на здоровье населения и улучшения экологической ситуации в Республике Таджикистан было принято девять законодательных и пять нормативно-правовых актов, регулирующих обеспечение радиационной безопасности в стране.

Одним из ключевых нормативно-правовых документов, регулирующих реабилитацию урановых хвостохранилищ в Республике Таджикистан, являются «Нормы и правила по проведению реабилитации территорий, загрязненных радиоактивными материалами», разработанные и утвержденные постановлением директора Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана № 88 от 3 декабря 2020 г.

В соответствии с данной нормативной базой, Национальной концепцией и установленными правилами в 2022–2023 гг., впервые в новейшей истории страны в рамках международного проекта стран СНГ «Межгосударственная программа» были проведены работы по реабилитации четырех крупных радиоактивных хвостохранилищ I–IV очередей и отвала «Фабрики бедных руд» на промплощадке «Табошар» в г. Истиклоле. В результате выполненных мероприятий высота отвала «Фабрики бедных руд» была снижена с 65 до 30 м в соответствии с проектными требованиями, а его поверхность покрыта нейтральным грунтом, что привело к увеличению территории отвала с 7,9 га до 14,5 га. Поверхность хвостохранилищ I, II, III и IV очередей была также покрыта нейтральным грунтом толщиной от 0,5 до 1,5 м на площадях 8,6 га, 7,1 га, 8,7 га и 17,1 га соответственно. Общая площадь проведенной реабилитации хвостохранилищ г. Истиклола составила 56 га. Измерения мощности дозы на указанных объектах показали, что после завершения реабилитационных работ уровень радиационного воздействия на поверхности хвостохранилищ существенно снизился, что положительно скажется на охране здоровья населения и защите окружающей среды в регионе [25].

Для дальнейшей минимизации радиоэкологических рисков в районах размещения радиоактивных хвостохранилищ урановой отрасли предлагается реализовать нижеперечисленные меры.

По хвостохранилищам г. Истиклола.

Осуществить захоронение порядка 30 млн тонн низкоактивных отвальных горных пород, образовавшихся в результате вскрышных работ на территории г. Истиклола, в отработанном карьере уранодобычи. Разработать и внедрить методы очистки вод карьера и дренажных вод штольни № 6, загрязненных радионуклидами, до уровня, пригодного для хозяйственно-бытового использования населением города. На территории выявлены остатки сооружений и здания бывшего ГМЗ, обрушение которых представляет угрозу для жизни населения. В связи с этим требуется демонтаж аварийных конструкций с последующим их укрытием (консервацией). Хвостохранилище цеха № 3 ГМЗ характеризуется недостаточным покрытием поверхности, в связи с чем необходимо проведение рекультивационных работ на данном участке.

По Дигмайскому хвостохранилищу

Учитывая, что оно является одним из крупнейших хвостохранилищ в странах Центральной Азии, имеет открытую поверхность и относится к числу наиболее опасных источников радиоэкологических рисков, целесообразно организовать и реализовать комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на снижение уровня опасности. В частности, рекомендуется проведение рекультивационных работ с покрытием поверхности хвостохранилища нейтральным грунтом, завозимым из прилегающих холмов. Пульпопровод и устаревшие насосные станции № 1 и № 2, загрязненные радионуклидами, имеют несанкционированный доступ для населения. Рекомендуется провести демонтаж трубопроводов с последующим захоронением отходов на Дигмайском хвостохранилище.

По Адрасманскому хвостохранилищу

Для снижения негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения необходимо переместить хвостовые материалы в безопасное место. В случае невозможности перемещения и с учетом риска водной эрозии следует организовать строительство водоотводного сооружения.

По шахтным водам, содержащим уран, в окрестностях г. Худжанда

Для уменьшения риска распространения радионуклидов и тяжелых металлов рекомендуется внедрение современных технологий очистки урансодержащих вод.

Заключение

Проведенные рекультивационные работы на площадках г. Истиклола способствовали снижению радиационного воздействия на население и окружающую среду. Общая площадь рекультивированных хвостохранилищ составила 56 га, поверхности покрыты нейтральным грунтом толщиной 0,5–1,5 м. Высота отвала «Фабрики бедных руд» снижена с 65 до 30 м, а покрытие поверхностей хвостохранилищ «I–IV очередей» значительно улучшено. Уровень радиационного фона на рекультивированных участках снизился в десять раз и составил 0,3 мкЗв/ч, что соответствует установленным нормативным требованиям.

С учётом успешного опыта восстановления загрязнённых территорий г. Истиклола предлагается продолжить реализацию рекультивационных проектов, включая территорию хвостохранилища цеха № 3 бывшего ГМЗ г. Истиклола, где наблюдается недостаточное покрытие поверхности, а также остатки разрушенных сооружений и зданий.

В перспективе планируется реализация проекта по рекультивации Дигмайского хвостохранилища с учётом демонтажа загрязнённого радионуклидами пульпопровода длиной 6 км от ГМЗ до хвостохранилища, а также насосных станций № 1 и № 2.

Хвостовые материалы Адрасманского хвостохранилища следует переместить в безопасное место; при невозможности переноса необходимо организовать водоотводное сооружение для защиты от эрозии.

Реализовать государственную программу безопасного управления урановым наследием с организацией долгосрочного радиоэкологического мониторинга.

Выполнение указанных мероприятий обеспечит значительное снижение радиационного и экологического риска для населения и окружающей среды, а также создаст основу для безопасного дальнейшего использования территории.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Мирсаидов У. – разработка концепции, осуществление общего научного руководства исследованием, утверждение окончательного варианта рукописи.

Назаров Х.М. – написание текста статьи и анализ данных.

Мирсаидзода И. – критический пересмотр с внесением ценного интеллектуального содержания.

Саидзода В.Я. – поиск и анализ литературы, анализ и интерпретация результатов.

Азизов О.А. – интерпретация литературных данных и перевод текста.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории технических услуг Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАН Таджикистана за оказание содействия в организации и проведении исследований. Авторы также признательны рецензентам за ценные комментарии, которые помогли улучшить качество нашей статьи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследования выполнены в рамках научно-исследовательских работ Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана на тему: «Радиоэкологическая оценка и радиационный мониторинг экосистем на примере Таджикистана» (2025–2029 гг.). Гос. регистрация №0125 TJ 1657.

Литература

1. Мирсаидов У.М., Хакимов Н., Назаров Х.М. Ядерное наследие Советского Союза в Таджикистане: проблемы и решения. В кн.: Радиоэкологический мониторинг биосреды и радиационная безопасность Таджикистана. Душанбе. АЯРБ АН РТ, 2010. С.58–64.
2. Хакимов Н., Назаров Х.М., Мирсаидов И.У. Физико-химические и технологические основы переработки отходов урановой промышленности / Под ред. У. Мирсаидова. Душанбе: Дониш, 2011. 125 с.
3. Khakimov N., Nazarov Kh.M., Mirsaidov I.U. Physico-chemical and manufacturing basis for uranium concentrates production from wastes of hydrometallurgical plants and technical waters. Ed.: academician AS RT U. Mirsaidov. Dushanbe: Mavlavi, 2012. 120 p.
4. Мирсаидов И., Назаров Х.М., Саломов Дж.А. Радиоактивные хвостохранилища Таджикистана: проблемы и решения / Под ред. У.М. Мирсаидова. Душанбе: ООО «Аршан», 2022. 206 с.
5. Фильцер Ю., Ларин В., Разыков З. Пионеры секретного атома. Чкаловск. ГП «Востокредмет», 1995. 68 с.
6. Нестеров Ю.В., Петрухин Н.П. Сырьевая база атомной промышленности. События, люди, достижения / Под ред. Н.П. Петрухина. М.: Атомредметзолото, 2015. 288 с.
7. Mirsaidov U., Nazarov Kh.M., Boboev B.D., et al. Assessment of the Potential Radiation Hazard of the Adrasman Tailing Dump (Tajikistan) for the Population Living Around It // Journal of Health and Environmental Research. 2022. Vol. 8, № 2. P. 151–158. DOI: 10.11648/j.jher.20220802.20.
8. Хакимова Н.У., Зоитова М.А. Урановые хвостохранилища г. Истиклола: история, проблемы, решения // Радиационная гигиена. 2023. Т.16, № 2. С. 102–113. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-102-113.
9. Мирсаидзода И., Ахмедов М.З., Баротов Б.Б. и др. Радиоэкологическая ситуация в Республике Таджикистан / Под ред. У.М. Мирсаидова. Душанбе: Дониш, 2021. 114 с.
10. Назаров Х.М., Саломов Дж.А., Хакимов Н. и др. Радиационный мониторинг хвостохранилища «Дигмай» // Известия АН Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2015. Т. 159, № 2. С.78–82.
11. Рахматов Н.Н. Физико-химические основы получения урановых концентратов из супесчаных почв и шахтных вод: автореф. дис. ... канд. хим. наук. Душанбе, 2016. 22 с.
12. Паспорта радиоактивных хвостохранилищ Северного Таджикистана. Агентство по ядерной и радиационной безопасности АН Республики Таджикистан. Душанбе, 2004. 6 с.
13. Назаров Х.М., Эрматов К.А., Саломов Дж.А. и др. Оценка потенциальной радиационной опасности бывших урановых объектов для населения г. Истиклол Республики Таджикистан // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 2. С. 83–90. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-83-90.
14. Ахмедов М.З., Назаров Х.М., Рахимбердиев Ш, Мирсаидов У. Естественные радионуклиды в почвах на территории ареала хвостохранилища «Адрасман» // Доклады НАН Таджикистана. 2023. Т. 66, № 5–6. С. 331–336.
15. Назаров Х.М., Эрматов К.А., Бахронов С.М., Мухамедова С.Г., Мирсаидов У.М. и др. Оценка потенциальной радиационной опасности хвостохранилища Дигмай (Таджикистан) для населения, проживающего вокруг него // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 1. С. 115–121. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-115-121.
16. Mirsaidov U., Nazarov Kh.M., Tillozoda H.I., et al. Ways to reduce the risk of radioactive contamination at the Digma tailing pond in Tajikistan // Ecological Engineering & Environmental Technology. 2026. Vol. 27, № 2. P. 424–430. DOI: 10.12912/27197050/217565.
17. Мирсаидов У.М., Назаров Х.М., Шосафарова Ш.Г., Махмудова М.М. Радоновый мониторинг на территории Северного Таджикистана // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 1. С. 68–73. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-1-68-73.
18. Мирсаидов У.М., Назаров Х.М., Махмудова М.М. и др. Сравнительная оценка потенциальной радиационной опасности хвостохранилищ Согдийской области Таджикистана // Радиация и риск. 2022. Т. 31, № 2. С. 118–127. DOI: 10.21870/0131-3878-2022-31-2-118-127.
19. Мирсаидов У.М., Ахмедов М.З., Махмудова М.М., Шосафарова Ш.Г. Радиационно-гигиенический мониторинг на объектах уранового наследия северного Таджикистана. Материалы международной конференции «Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века». – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. Ч. 2. С. 276–279. URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/231386> (Дата обращения 15.02.2026).
20. Башкин В.Н. Экологические риски: определения и расчеты // Проблемы анализа риска. 2014. Т. 11, № 5. С. 4–5.
21. Лаврентьева Г.В., Мирзеабасов О.А., Синзыныс Б.И., Гешель И.В. Радиационный экологический риск для наземной экосистемы в зоне влияния хранилища радиоактивных отходов // Радиация и риск. 2018. Т. 27, № 4. С. 65–75. DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-4-65-75.
22. Беззубов Н.И., Юнусов М.М., Разыков З.А., Файзуллаев Б.Г. Оценка воздействия Дигмайского хвостохранилища на окружающую среду. Сборник докладов II-ой Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности». Алматы. Казатомпром. 2002. С. 181–183.

23. Назаров Х.М., Бобоев Б.Д., Эрматов К.А. Оценка радионормативности территории Дигмайского хвостохранилища // XXI век. Техносферная безопасность. 2017. Т. 2, № 3. С. 44–48.
24. Назаров Х.М., Саломов Дж.А., Хакимов Н. и др. Экологические аспекты реабилитации урановых хвостохранилищ г.Истиклола республики Таджикистан // Известия АН Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук. 2015. Т. 159, № 2. С. 87–92.
25. Назаров Х.М., Ахмедов М.З., Рахимбердиев Ш.А., Мирсаидов У.М. Радиоэкологический мониторинг хвостохранилищ города Истиклол до и после рекультивационных работ. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы радиационной гигиены». Санкт-Петербург. 2023. С. 210–214.

Поступила: 16.02.2026

Мирсаидов Улмас – доктор химических наук, профессор, академик НАН Таджикистана, главный научный сотрудник Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан; ORCID: 0009-0003-8023-8771, РИНЦ Author ID: 787421

Назаров Холмурод Марипович – доктор технических наук, профессор, заместитель директора Филиала Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана в Согдийской области. **Адрес для переписки:** 735730, Таджикистан, г. Бустон, ул. Б. Гафурова, 1А; E-mail: holmurod18@mail.ru; ORCID: 0009-0001-5844-6166, РИНЦ Author ID: 787458

Мирсаидзода Илхом – доктор технических наук, профессор, директор Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан; ORCID: 0009-0001-4846-319X, РИНЦ Author ID: 787468

Саидзода Вайсиддин Ятим – докторант Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан; ORCID: 0000-0002-0805-9555, РИНЦ Author ID: 1276421

Азизов Олимджон Азизович – кандидат технических наук, начальник отдела менеджмента и связей с общественностью Агентства по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан; ORCID: 0009-0008-1923-1139; РИНЦ Author ID: 1868-2647

Для цитирования: Мирсаидов У., Назаров Х.М., Мирсаидзода И., Саидзода В.Я., Азизов О.А. Радиоэкологические аспекты управления хвостохранилищами урановой промышленности Таджикистана // Радиационная гигиена. 2026. Т. 19, № 2. С. 84–94. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-84-94

Radioecological aspects of the management of uranium industry tailings in Tajikistan

Ulmas Mirsaidov¹, Kholmurod M. Nazarov², Ilhom Mirsaidzoda¹, Vaysiddin Y. Saidzoda¹, Olimjon A. Azizov¹

¹ Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

² Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan's Branch in Sughd Region, Buston, Tajikistan

People and the environment must be protected from radiation risks now and in the future. In this regard, the aim of this work was to summarize the existing data on the tailings of the uranium industry in Tajikistan and to develop scientifically grounded radiation-hygienic approaches to the management of low-level radioactive waste. The objective of the research was to analyze the formation of radioactive tailings in the territory of Tajikistan. Materials and Methods: The information base of the research was the results of previously conducted scientific works. The main characteristics of tailings storage facilities, as well as their radiation impact on the environment, have been examined. Particular attention is given to the issues of categorization and passportization of radioactive waste. Radiation monitoring was carried out using modern measuring instruments and equipment manufactured in the Russian Federation ("Doza"), the Republic of Belarus ("Atomtech"), the USA ("Canberra"), and Germany ("Thermo"). Results and Discussion: Existing radioecological risks in the areas where unsealed tailings pond is located have been identified. The radiation and hygiene requirements for ensuring the radiation safety of industrial waste have been considered. It is noted that the reclamation work carried out at the facilities in the of Istiklol city has significant practical importance, as it ensured the reduction of the radiation background to the normative level (0.3 μSv/h), decreased the anthropogenic load on the environment, and increased the ecological safety of the population. Conclusion: Promising directions include the continuation of reclamation of problematic areas, including the tailings pond of shop No. 3 of the former hydrometallurgical plant, the implementation of the Digma tailings restoration project with the dismantling of contaminated infrastructure, the adoption of measures to ensure the

Kholmurod M. Nazarov

Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security

Address for correspondence: 1A B. Gafurov Str., Buston, Sughd Region, 735730, Tajikistan; E-mail: holmurod18@mail.ru

safety of the Adrasman tailings pond, as well as the introduction of a state program for the safe management of uranium legacy with a long-term radioecological monitoring system. The comprehensive implementation of the aforementioned measures will ensure further reduction of radiation and environmental risks, create a foundation for the safe and sustainable development of the area, and also enable its safe future use.

Key words: uranium industry, tailings, radionuclides, radioecology, radiation risk, Tajikistan, radiation safety, reclamation.

Authors' personal contribution

Thereby, all authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research, and preparation of the article, as well as read and approved the final version before its publication).

Ulmas Mirsaidov – concept development, overall scientific supervision of the research, approval of the final version of the manuscript.

Kholmurod M. Nazarov – writing the text of the article and data analysis.

Ilhom Mirsaidzoda – critical review with valuable intellectual input.

Vaysiddin Y. Saidzoda – literature search and analysis, analysis and interpretation of results.

Olimjon A. Azizov – interpretation of literature data and translation of the text.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to the staff of the Scientific and Technical Support Organization to Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of National Academy of Sciences of Tajikistan for their assistance in organizing and conducting the research.

The authors also thank the reviewers for their valuable comments, which helped improve the quality of our article.

Conflict of interests

The authors state that there is no potential conflict of interest.

Sources of funding

The research was conducted as part of the research project Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan on the topic: "Radioecological assessment and radiation monitoring of ecosystems using Tajikistan as an example" (2025-2029). State Registration No.0125 TJ 1657.

References

1. Mirsaidov UM, Khakimov N, Nazarov KhM. Nuclear legacy of the Soviet Union in Tajikistan: problems and solutions. In the book: Radioecological monitoring of the biological environment and radiation safety of Tajikistan. Dushanbe: NRSA AS RT; 2010, P. 58-64 (In Russian).
2. Khakimov N, Nazarov KhM, Mirsaidov IU. Physico-chemical and technological fundamentals of processing waste from the uranium industry. Ed.: U. Mirsaidov. Dushanbe: Donish; 2011. 125 p. (In Russian).
3. Khakimov N, Nazarov KhM, Mirsaidov IU. Physico-chemical and manufacturing basis for uranium concentrates production from wastes of hydrometallurgical plants and technical waters. Ed.: academician AS RT U. Mirsaidov. Dushanbe: Mavlavi; 2012. 120 p.
4. Mirsaidzoda I, Nazarov KhM, Salomov JA. Radioactive waste tailing dumps in Tajikistan: problems and solutions. Ed.: U.M. Mirsaidov. Dushanbe: Arsham LLC; 2022. 206 p. (In Russian).
5. Filzer Y, Larin V, Razykov Z. Pioneers of the secret atom. Chkalovsk: SE "Vostokredmet"; 1995. 68 p. (In Russian).
6. Nesterov YuV, Petrukhin NP. Raw material base of the nuclear industry. Events, people, achievements. Ed. NP Petrukhina. Moscow: Atomredmetzoloto; 2015. 288 p. (In Russian).
7. Mirsaidov U, Nazarov KhM, Boboev BD, Rahimberdiev ShA, Mukhamedova SG, Akhmedov MZ. Assessment of the Potential Radiation Hazard of the Adrasman Tailing Dump (Tajikistan) for the Population Living Around It. *Journal of Health and Environmental Research*. 2022;8(2): 151-158. DOI: 10.11648/j.jher.20220802.20.
8. Khakimova NU, Zoitova MA. Uranium tailings in the Istiqlol city: history, problems, solutions. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(2): 102-113 (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-102-113.
9. Mirsaidzoda I, Ahmedov MZ, Barotov BB, Nazarov KhM, Khamidov FA. Radioecological condition in the Republic of Tajikistan. Ed.: U.M. Mirsaidov. Dushanbe: Donish; 2021. 114 p. (In Russian).
10. Nazarov KhM, Salomov JA, Khakimov N, Salomov FJ, Rakhmatov NN. Radiation monitoring of the Digmay tailings dump. *Izvestiya AN Respubliki Tadjikistan. Otdeleniye fiziko-matematicheskikh, khimicheskikh, geologicheskikh i tekhnicheskikh nauk = Proceedings of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Department of Physical, Mathematical, Chemical, Geological, and Technical Sciences*. 2015;159(2): 78-82 (In Russian).
11. Rakhmatov NN. Physico-chemical basis for obtaining uranium concentrates from sandy loam soils and mine waters: abstract of thesis. dis. ...cand. chem. Sci. Dushanbe; 2016. 22 p. (In Russian).
12. Passports of radioactive tailings ponds of Northern Tajikistan. Nuclear and Radiation Safety Agency of Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Dushanbe; 2004. 6 p. (In Russian).
13. Nazarov KhM, Ermatov KA, Salomov JA, Bahronov SM, Mirsaidov UM. Assessment of potential radiation hazard of the former uranium facilities for the population of the Istiqlol city of the Republic of Tadjikistan. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(2): 83-90. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-2-83-90.
14. Akhmedov MZ, Nazarov KhM, Rakhimberdiev Sh, Mirsaidov U. Natural radionuclides in soils in the area of the Adrasman tailings dump. *Doklady NAN Tadjikistana = Reports of the National Academy of Sciences of Tajikistan*. 2023;66(5-6): 331-336 (In Russian).
15. Nazarov KhM, Ermatov KA, Bahronov SM, Mukhamedova SG, Mirsaidov UM. Assessment of the potential radiation hazard of the Dehmoy tailings pond (Tajikistan) for the population living around it. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(1): 115-121 (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-115-121.
16. Mirsaidov U, Nazarov KhM, Tilozoda HI, Mirzoev DI, Khasanov AF. Ways to reduce the risk of radioactive contamination at the Digmay tailing pond in Tajikistan. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026;27(2): 424-430. DOI: 10.12912/27197050/217565.
17. Mirsaidov UM, Nazarov KhM, Shosafarova ShG, Mahmudova MM. Radon monitoring on the territory of Northern Tajikistan. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(1): 68-73 (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-1-68-73.

18. Mirsaidov UM, Nazarov KhM, Makhmudova MM, Muratov ShR, Ermatov KA, Akhmedov MZ. Comparison assessment of the potential radiation hazard of tailing dumps in the Sughd region of Tajikistan. *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*. 2022;31(2): 118-127 (In Russian). DOI: 10.21870/0131-3878-2022-31-2-118-127.
19. Mirsaidov UM, Akhmedov MZ, Makhmudova MM, Shosafarova ShG. Radiation-hygienic monitoring at uranium heritage sites in northern Tajikistan / Materials of the international conference "Sakharov readings 2019: environmental problems of the 21st century". Minsk: Information Computing Center of the Ministry of Finance; 2019. Part 2. P. 276-279 (In Russian). Available from: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/231386> [Accessed February 15, 2026].
20. Bashkin VN. Environmental risks: definitions and calculations. *Problemy analiza riska = Problems of risk analysis*. 2014;11: 4-5 (In Russian).
21. Lavrentyeva GV, Mirzeabasov OA, Synzynys BI, Geshel IV. Radiation ecological risk for the terrestrial ecosystem in the zone close to the radioactive waste storage facility. *Radiatsiya i risk = Radiation and risk*. 2018;27(4): 65-75 (In Russian). DOI: 10.21870/0131-3878-2018-27-4-65-75.
22. Bezzubov NI, Yunusov MM, Razykov ZA, Faizullaev BG. Assessment of the impact of the Digmay tailings dump on the environment. – In the book: Collection of reports of the II International Scientific and Practical Conference "Current Problems of the Uranium Industry". Almaty: Kazatomprom; 2002. P. 181-183 (In Russian).
23. Nazarov KhM, Boboev BD, Ermatov KA. Radon hazard assessment for the Digmay tailing dump. XXI vek. *Tekhnosfermaya bezopasnost = XXI st century. Technosphere safety*. 2017;2(3): 44-48 (In Russian).
24. Nazarov KhM, Salomov JA, Khakimov N, Rakhmatov NN, Ermatov KA. Environmental aspects of the rehabilitation of uranium tailings in Istiklol, Republic of Tajikistan. News of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. *Izvestiya AN Respubliki Tadzhikistan. Otdeleniye fiziko-matematicheskikh, khimicheskikh, geologicheskikh i tekhnicheskikh nauk = Proceedings of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Department of Physical, Mathematical, Chemical, Geological, and Technical Sciences*. 2015;159(2): 87-92 (In Russian).
25. Nazarov KhM, Akhmedov MZ, Rakhimberdiev ShA, Mirsaidov UM. Radioecological monitoring of tailings dumps in the city of Istiklol before and after reclamation work. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Topical Issues of Radiation Hygiene". Saint Petersburg; 2023. P. 210-214 (In Russian).

Received: February 16, 2026

Ulmas Mirsaidov – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Chief Research Scientist at the Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan; ORCID: 0009-0003-8023-8771, RSCI Author ID: 787421

For correspondence: Kholmurod M. Nazarov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director of the Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan's Branch in Sughd Region (1a B. Gafurov St., Buston, Sughd Region 735730, Tajikistan; E-mail: holmurod18@mail.ru); ORCID: 0009-0001-5844-6166, RSCI Author ID: 787458

Ilhom Mirsaizoda – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan; ORCID: 0009-0001-4846-319X, RSCI Author ID: 787468

Vaysiddin Y. Saidzoda – PhD student at the Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan; ORCID: 0000-0002-0805-9555, RSCI Author ID: 1276421

Olimjon A. Azizov – Candidate of Technical Sciences, Head of the Management and Public Relations Department of the Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Safety and Security Agency of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan; ORCID: 0009-0008-1923-1139, RSCI Author ID: 1868-2647

For citation: Mirsaidov U., Nazarov Kh.M., Salomov Dzh.A., Saidzoda V.Ya., Azizov O.A. Radioecological aspects of the management of uranium industry tailings in Tajikistan. *Radiatsionnaya Gygiyena = Radiation Hygiene*. 2026. Vol. 19, No. 2. P. 84–94. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-84-94