

УДК 621.039.72

© 1996 г.

**СТРАТЕГИЯ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ НА  
ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕДИНЕНИИ "МАЯК"**

*Ю.В. Глаголенко, Е.Г. Дзекун, Е.Г. Дрожко, Г.М. Медведев,  
С.И. Ровный, А.П. Суслов  
Россия, Озерск, ПО "Маяк"*

Рассмотрены основные подходы, используемые в настоящее время на производственном объединении "Маяк", при обращении с радиоактивными отходами. Приведены характеристики высоко-, средне- и низкоактивных отходов, дано краткое описание методов их хранения и переработки.

Производственное объединение "Маяк" (ранее химический комбинат "Маяк") было создано в конце сороковых годов для получения оружейного плутония и переработки дефицитных материалов с целью создания паритета в области ядерного оружия. В дальнейшем на базе развитой инфраструктуры на предприятии были созданы гражданские производства ядерного топливного цикла, радиоактивных источников и препаратов. В 1955 году был введен в эксплуатацию завод радиоактивных изотопов, а в 1976 году - радиохимический завод по переработке отработавшего ядерного топлива с атомных станций, транспортных и исследовательских установок.

С 1986 года на радиохимическом заводе прекращена переработка облученных блоков и производство оружейного плутония, а чуть позднее был осуществлен вывод из эксплуатации 5 промышленных уран-графитовых реакторов и ряда других производств оборонного характера.

Для решения вопросов по обращению с радиоактивными отходами и восстановлению окружающей среды на ПО "Маяк" была разработана комплексная программа, которая объединяет и отражает весь спектр проблем,

сложившихся в результате предыдущей и текущей деятельности, а также учитывает новые перспективные направления.

**ВЫСОКОАКТИВНЫЕ ЖИДКИЕ  
РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ (ВАО)**

В ходе выполнения оборонной программы на ПО "Маяк" накоплено около 19000 м<sup>3</sup> ВАО и высокоактивных суспензий с суммарной активностью 135 млн.Ки. Химический и радионуклидный состав суспензий достаточно сложен, поскольку концентрированию осадительными методами подвергались растворы от переработки различных типов облученных блоков и твэлов (гидратные, сульфидные, ферроцианидные осадки).

Часть отходов (около 8000 м<sup>3</sup>) от экстракционной переработки твэлов хранится в емкостях в виде высокоактивных азотнокислых растворов с суммарной активностью 200 млн.Ки. Эти растворы с концентрацией азотной кислоты до 3 моль/л получены в результате упарки и содержат: алюминий (1-3 г/л), натрий (2.5-3 г/л), железо (1-10 г/л), никель (1-5 г/л), хром (0.3-2.0 г/л), кальций (0.2-2.0 г/л), сульфат-ион (1-3 г/л), платиноиды и редкоземельные элементы.

Кроме того, ежегодно на радиохимическом заводе при переработке отработавшего ядерного топлива энергетических реакторов и установок военно-морского флота образуется 2000-3000 м<sup>3</sup> ВАО с суммарной активностью до 100 млн.Ки.

Воднохвостовой раствор от переработки высокообогащенных твэлов содержит до 200 г/л солей и до 250 г/л азотной кислоты, активность раствора достигает величины 30 Ки/л.

Раствор от переработки твэлов энергетических реакторов содержит до 10 г/л солей и до 250 г/л азотной кислоты, активность - до 60 Ки/л.

Некоторые данные по количеству высокоактивных жидких отходов (по состоянию на 01.03.95) приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Количество высокоактивных отходов, накопленных на ПО "Маяк"

Вид отходов	Количество отходов, м <sup>3</sup>	Суммарная активность, млн.Ки
Суспензии	19000	135
Азотнокислые растворы	11700	249
Остеклованные отходы	1974	246

Накопленные высокоактивные азотнокислые растворы хранятся в 18 специальных емкостях с полным объемом 316 м<sup>3</sup> и рабочим объемом 285 м<sup>3</sup>, диаметром 9 и высотой 5 м. Емкости выполнены из нержавеющей стали Х18Н9Т в виде цилиндров с крышками и днищем и оборудованы приборами контроля уровня, давления, температуры, сигнализаторами переполнения, сдувочными коллекторами и коллекторами для подачи воздуха на разбавление выделяющихся радиолитических газов. Для отвода тепла емкости снабжены трехсекционными змеевиками с поверхностью охлаждения 60 м<sup>2</sup>. Каждая емкость

смонтирована в каньоне, облицованном нержавеющей сталью. В каньонах смонтированы приямки с сигнализаторами наличия жидкости и трубопроводы для сбора возможных протечек.

Упаренные азотнокислые растворы хранятся в 3 емкостях, изготовленных из нержавеющей стали Х18Н10Т рабочим объемом 1500 м<sup>3</sup> каждая. Диаметр емкости 22, а высота - 4.25м, полный объем - 1553 м<sup>3</sup>. Каждая емкость расположена в отдельном, облицованном нержавеющей сталью каньоне. Для снятия тепла емкости снабжены 16 секционными равномерно расположенными по всему объему змеевиками с общей площадью теплосъема 300 м<sup>2</sup>.

Для хранения суспензий используются 20 емкостей-хранилищ. Емкости представляют собой бетонные отсеки размером 19.5 x 9.5 x 7 м, облицованные нержавеющей сталью, рабочим объемом 1170 м<sup>3</sup>. 12 емкостей имеют систему внутреннего охлаждения. Имеются системы контроля уровня, давления, температуры и газовой выделения. С целью удаления и разбавления выделяющихся при радиолитическом разложении водорода и метана над поверхностью растворов продувается воздух.

В отделении остекловывания расположено хранилище, предназначенное для размещения остеклованных отходов с максимальным тепловыделением 5 кВт/м<sup>3</sup>. Хранилище разбито на 7 отсеков, имеющих автономную вентиляцию. В каждом отсеке имеется 338 гнезд (стояков). Каждое гнездо рассчитано на 2 пенала, с размещением в каждом пенале 3-х бидонов со стекломассой объемом по 200 л. В первом отсеке имеется 13 контрольных стояков, куда помещаются пеналы для контроля их герметичности.

В соответствии с концепцией замкнутой системы водоснабжения и безопасного обращения с радиоактивными отходами на ПО "Маяк" разработана принципиальная технологическая схема обращения с жидкими радиоактивными отходами любого уровня активности (рис.1).

Схема состоит из трех технологических цепочек, предназначенных, соответственно, для переработки растворов высокого, среднего и низкого уровня активности. В соответствии с требованиями безопасного хранения отходов в качестве матрицы для высокоактивных отходов принято фосфатное стекло, для низкоактивных отходов - битумная или цементная матрицы.

Текущие ВАО, образующиеся при переработке отработавших твэлов, упариваются, кубовые остатки частично смешиваются с ранее накопленными ВАО и далее после флюсования фосфорной кислотой и нитратом натрия остекловываются в электропечи прямого электрического нагрева ЭП-500 с производительностью до 500 л/ч (рис. 2). Сведения о количестве остеклованных отходов приведены в табл.2. Образующаяся стекломасса разливается в специальные контейнеры (бидоны) объемом 200 л. Бидоны упаковываются по 3 штуки в пеналы и помещаются в гнезда временного хранилища. Проектная

удельная активность стекломассы 2500 Ки/л, удельная активность получаемого стекла - 200-600 Ки/л. Образующиеся в процессе конденсата объединяются со среднеактивными отходами.

В настоящее время по этой технологии полностью перерабатываются все текущие ВАО.

Расширение последующей переработки накопленных ВАО может быть осуществлено лишь после специальной их обработки, например, по технологии фракционирования на действующей электропечи, либо с использованием альтернативных установок (электропечь с изолированными электродами и донным сливом, индукционный плавитель с холодным тиглем).

В настоящее время на предприятии создана установка фракционирования ВАО УЭ-35 для извлечения стронция и цезия из отходов с использованием экстракционной системы на основе хлорированного дикарболлида кобальта (ХДК). Проводится отработка технологии.



Рис.1. Схема обращения с высокоактивными отходами

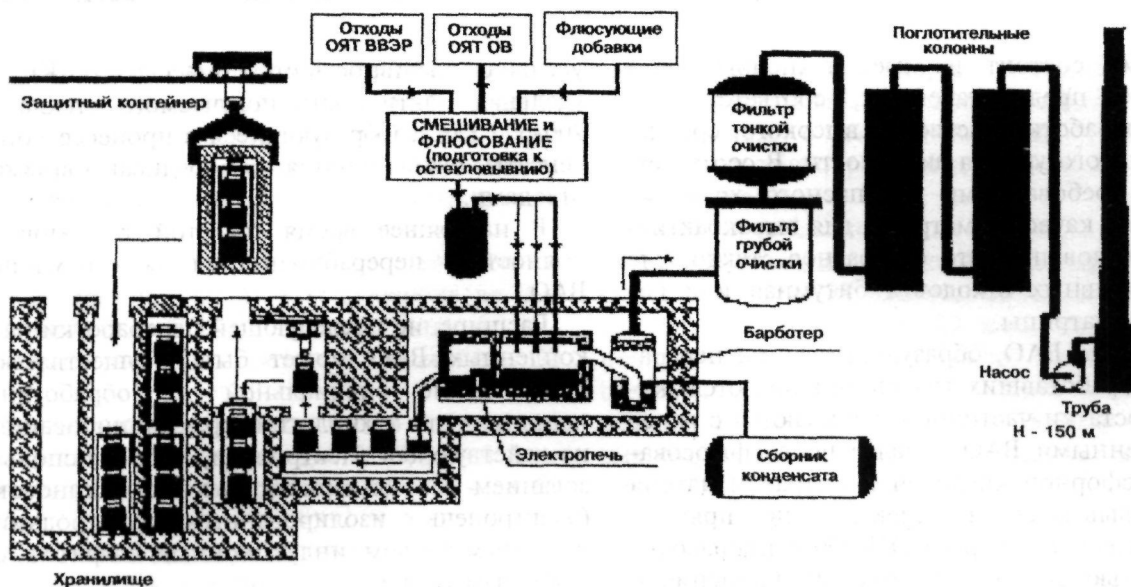


Рис.2. Система остекловывания радиоактивных отходов в электропечи ЭП-500

В 1996 г. предполагается завершить создание установки ИПХТ (индукционный плавитель с холодным тиглем).

Дальнейшие шаги при обращении с ВАО связаны с разработкой минералоподобных матриц, пригодных для длительного хранения и захоронения.

Таблица 2

Количество остеклованных отходов

Год	Масса отходов, т	Активность отходов, млн. Ки
1987-1990	162	3.96
1991	178	28.2
1992	563	77.7
1993	448	46.8
1994	407	57.4
1995	216	31.7
Всего	1974	245.76

### СРЕДНЕАКТИВНЫЕ ЖИДКИЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ (САО)

Удаление среднеактивных жидких радиоактивных отходов осуществляется, главным образом, в открытые водоемы №9 и №17 (табл. 3).

В водоем №9 (озеро Карачай) с момента начала его эксплуатации в 1951 года направлено около 2.5 млн.м<sup>3</sup> отходов. За этот период в водоеме накопилось около 120 млн.Ки активности. Радионуклиды распределены между подвижными донными отложениями (60%), суглинистым экраном ложа водоема (35%) и водной фазой (5%). В последние годы поступление отходов в водоем №9 составляет примерно 20000 м<sup>3</sup>/год с удельной активностью (1-2) · 10<sup>-2</sup> К/л.

Таблица 3  
Характеристика водоемов 9 и 17

Показатель		Водоем	
		В-9	В-17
Площадь, км <sup>2</sup>		0.16	0.17
Объем, млн.м <sup>3</sup>		0.3	0.3
Концентрация в воде, Ки/л	Стронций-90	$1.7 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-6}$
	Цезий-137	$1.2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-6}$
	НТО	$5.3 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
	Сумма $\alpha$ -излучателей	$6.7 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-9}$
	Сумма $\beta$ -излучателей	$1.9 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-5}$
Концентрация в донных отложениях, Ки/л	Стронций-90	0.3	0.12
	Цезий-137	1.4	$3.3 \cdot 10^{-2}$
Накоплено, Ки	В воде	$8.4 \cdot 10^6$	$4.5 \cdot 10^3$
	В донных отложениях	$1.1 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^6$
	Всего :	$1.2 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^6$

В водоеме №17 с 1970 года после пуска в эксплуатацию выпарного отделения поступает тритиевый конденсат. За время эксплуатации объем этих конденсатов составил примерно 800 тыс.м<sup>3</sup>, удельная активность конденсатов по тритию  $1 \cdot 10^{-6}$  Ки/л.

К накопленным среднеактивным отходам также относятся перлитные пульпы, хранящиеся в емкостях - пульпохранилищах объемом около 200 м<sup>3</sup> с суммарной активностью 4450 Ки. Емкости выполнены из нержавеющей стали и расположены в отдельных каньонах. Охлаждение хранилищ предусмотрено воздухом. В емкостях контролируется уровень переполнения, нижний уровень, рабочий объем, температура раствора (или пульпы).

Отработанный экстрагент в объеме 400 м<sup>3</sup> с удельной активностью  $10^{-3}$  -  $10^{-5}$  Ки/л хранится в емкостях по 500 м<sup>3</sup>. Емкости диаметром 11 и высотой 5.9 м выполнены из нержавеющей стали и размещены в каньонах, облицованных также нержавеющей сталью.

В настоящее время образующиеся среднеактивные жидкие радиоактивные отходы представляют собой дренажно-десорбирующие растворы, растворы от отмывки и дезактивации оборудования, растворы от промывки экстрагента и экстракторов, растворы от дезактивации чехлов и пеналов, конденсаты спецгазоочистки.

Суммарный годовой объем образующихся среднеактивных отходов составляет 16-20 тыс.м<sup>3</sup> в год (менее 1 млн. Ки). Удельная активность отходов составляет  $2 \cdot 10^{-2}$  Ки/л, а усредненное солесодержание 12-15 г/л.

С целью прекращения сбросов в водоем №9 ведется строительство первой очереди комплекса переработки САО, включающего узлы подготовки, упаривания и битумирования растворов, а также хранения накопленного продукта - битумного компаунда.

В дальнейшем планируется постепенный переход от технологии битумирования к процессам, использующим более устойчивые материалы на основе местных сырьевых ресурсов (глина, шлаки металлургического производства).

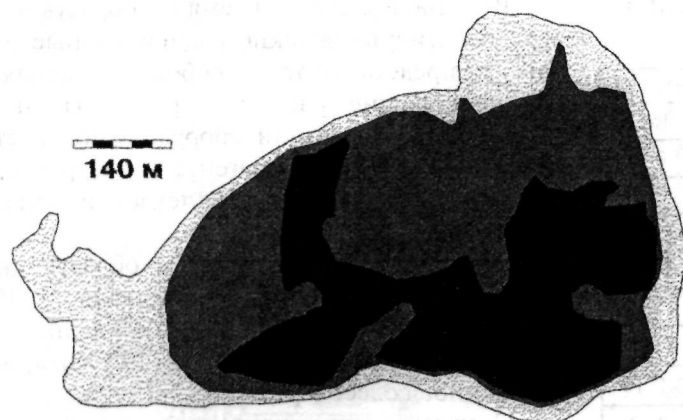
Отдельную сложнейшую проблему представляет озеро Карачай.

Проблема Карачая содержит в себе, по крайней мере, два аспекта, требующих неотложного решения :

- ♦ снижение и, в ближайшей перспективе, полная ликвидация уноса радиоактивных аэрозолей в атмосферу с водной поверхности и береговой линии при нормальных и экстремальных (ураган, смерч) метеоусловиях;
- ♦ локализация ореола загрязненных подземных вод.

В качестве первоочередных и неотложных практических действий следует отметить реализацию проекта закрытия и ликвидации водной поверхности водоема Карачай.

Решение о ликвидации акватории водоема было принято в конце 70-х годов, а к концу 80-х годов, в основном, была отработана



**Схема акватории водоема**

- 1962 г. площадь акватории 51 га
- 1971 г. площадь акватории 36 га
- 1995 г. площадь акватории 16 га

Рис.3. Этапы закрытия водоема №9

технология его засыпки скальным грунтом с применением полых бетонных блоков.

В результате проведенных работ площадь акватории водоема сократилась с 36 га до 16 га на конец 1995 года (рис. 3).

Выбранные стратегические и тактические решения по закрытию акватории водоема, в том числе разбивка водоема на чеки, позволили уже к настоящему времени значительно сократить ветровой унос радиоактивных аэрозолей с водной поверхности (за счет срыва капель с гребня волны) и снизить тяжесть возможных последствий прохождения смерча или вихря через акваторию водоема. Однако, окончательная ликвидация источника ветрового подъема и переноса радиоактивных аэрозолей в атмосфере будет достигнута только после полного закрытия акватории водоема.

Год	Количество блоков ПБ-1, шт	Объем камня, тыс.м <sup>3</sup>
1984 - -1986	1426	56.1
1987	1476 + 32 плиты	33.5
1988	977 + 12 плит	36
1989	2188	165
1990	614	193
1991	1363	253
1992	1400	265.5
1993	-	270
1994	-	66
1995	-	119.2
<b>Всего :</b>	<b>9444 + 44 плиты</b>	<b>1457.3</b>

Для разработки конкретных научно-обоснованных практических рекомендаций по ликвидации ореола загрязненных радионуклидами подземных вод необходимо :

- ♦ провести комплекс изыскательных работ по изучению геологических и гидрогеологических особенностей строения подстилающих горных пород в районе водоема Карачай;
- ♦ разработать прогностические модели миграции загрязненных вод.

На базе выполненных исследований составлено заключение, обобщающее наши представления по проблеме Карачая. В 1995 г. были выполнены расчеты по оценке

распространения ореола загрязняющих веществ. По результатам прогноза будут предложены конкретные практические рекомендации и мероприятия по его ликвидации.

Однако, уже сейчас можно предполагать, что одним из пунктов практических мероприятий по ликвидации ореола может стать технология, включающая следующие этапы:

- перехват переднего фронта ореола загрязненных вод сетью дренажных скважин;
- откачка и очистка загрязненных дренажных вод;
- сброс очищенных вод в р. Мишеляк.

В этой связи были проведены работы по созданию технологии очистки вод подземного шлейфа. Выполнен развернутый анализ воды из различных контрольных скважин и установлено, что технологическими особенностями таких вод является высокая засоленность, наличие комплексообразователей, загрязнение стронцием-90 и актинидами (ураном). Проведенные исследования с использованием осадительных и сорбционных методов не позволили создать эффективную технологию очистки подземных вод. В настоящее время проводятся исследования по использованию для этих целей электромембранных технологий.

#### НИЗКОАКТИВНЫЕ ЖИДКИЕ РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ (НАО)

К низкоактивным жидким отходам на ПО "Маяк" относятся трапные воды (спецканализация) заводов.

Воды спецканализации общим объемом 0.7-1.0 млн.м<sup>3</sup>/год, с удельной активностью 1.5·10<sup>-5</sup> Ки/л и средним солесодержанием до 1 г/л подвергаются обессоливанию и очистке от радионуклидов на ионообменных фильтрах очистных сооружений. Технологическая схема очистки включает в себя кварцевые фильтры для механической очистки, а также включенные попарно Н- и ОН-ионитовые фильтры.

Для регенерации Н-катионитовых фильтров используется 5% раствор азотной кислоты, ОН-анионитовых фильтров - 3-4% раствор гидроксида натрия. Очищенная вода с активностью 2·10<sup>-7</sup> Ки/л сбрасывается в водоем оборотного водоснабжения №2 (табл.4).

Регенераты очистных сооружений объемом до 0.1 млн.м<sup>3</sup>/год с удельной активностью 10<sup>-4</sup> Ки/л поступают в водоем №3 каскада водоемов - хранилищ.

В настоящее время в каскад водоемов поступает примерно 2500 Ки/год радиоактивных веществ. За все время деятельности ПО "Маяк" в каскад водоемов с низкоактивными отходами выдано примерно 1.8·10<sup>5</sup> Ки радионуклидов, большая часть которых сосредоточена в водоеме №10.

Таблица 4  
Краткая характеристика эксплуатируемых на ПО "Маяк" водоемов

Водоем	Площадь водоема, км <sup>2</sup>	Объем водоема, млн.м <sup>3</sup>	Накоплено, кКи
В-3	0.5	0.75	44
В-4	1.3	4.1	7.3
В-10	19	76	230
В-11	44	230	26
В-2	19	83	22
В-6	3.6	17.5	0.3
В-9	0.16	0.3	120000
В-17	0.17	0.3	2000

Решение проблемы НАО во многом зависит от применения эффективных методов сокращения объемов исходных растворов. Планируется испытать метод многократной упарки с последующей его доработкой до промышленного использования. В ближайшем будущем будет завершено создание опытной установки ДОУ-10. Кубовые остатки предполагается отверждать по технологии цементирования.

### ОБРАЩЕНИЕ С ТВЕРДЫМИ РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ (ТРО)

Количество ТРО, образовавшихся за весь период деятельности ПО "Маяк", оценивается в 400 тыс.т.

До 1981 года темп накопления ТРО составлял 10 тыс.т/год, а после 1981 года он стабильно снижался и в последние 2 года образуется не более 2-2.5 тыс.т в год.

За время деятельности ПО "Маяк" захоронено:

- ♦ низко- и среднеактивных отходов в сумме примерно 400 тыс.т (40000 Ки);
- ♦ высокоактивных отходов - 25 тыс.т (12.0 млн.Ки).

В местах образования ТРО их собирают в тару разового пользования, сортируют по группам загрязнения и перед транспортировкой помещают в сборники - накопители. Транспортировка в места захоронения осуществляется в специально оборудованном автомобильном транспорте.

Все ТРО захоранивают в могильники: слабо- и среднеактивные в грунтовые,

высокоактивные - в железобетонные сооружения с многослойной изоляцией. Характеристики могильников, эксплуатирующихся на ПО "Маяк" приведены в табл.5.

Грунтовые могильники оборудуются в глинистом слое породы, который является гидроизоляцией и сорбентом для радионуклидов, содержащихся в ТРО. По мере заполнения могильники засыпаются вынутым глинистым грунтом, после чего проводится планировка местности. Осуществляется контроль за загрязнением поверхности могильников и грунтовых вод вблизи них.

По технологии переработки ТРО запланировано поэтапное развитие производства от создания опытно-промышленного стенда по прессованию отходов до комплексной схемы переработки всех типов ТРО. Аналогичный подход используется при переходе к современным методам хранения - от опытно-промышленного полигона к центральному полигону для всех подразделений предприятия.

Таблица 5

Характеристика используемых на ПО "Маяк" типов могильников и количество накопленных в них ТРО

Тип могильника	Состояние	Количество, шт.	Масса отходов, тыс.т.	Активность отходов, кКи
Капитальные	Законсервированные	13	3.2	2500
	Действующие	11	56.3	9500
Грунтовые	Законсервированные	156	285	38
	Действующие	53	18.1	5
Всего		233	362.6	~12000

В заключение хотелось бы отметить следующее. Даже краткое изложение основных моментов стратегии обращения с радиоактивными отходами на ПО "Маяк" дает представление о всей сложности и многогранности решаемых задач. Несомненно, эти проблемы в настоящее время вышли на первый план и требуют к себе самого пристального внимания. Мы рассчитываем, что этой публикацией на страницах журнала откроется постоянная рубрика, где будет подробно рассмотрен весь комплекс научно-практических и инженерных задач, решаемых как в нашем объединении, так и на других предприятиях ядерно-топливного цикла.

Поступила в редакцию в апреле 1996 г.