

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2026-1-14-18>  
УДК 66.014

## СОЗДАНИЕ ИМИТАТОРОВ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ РЕАКТОРА БН-350

Д. С. Чернова\*, А. Г. Коровиков, В. В. Бакланов

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

\* E-mail для контактов: chernova@nnc.kz

Настоящая работа посвящена вопросу создания имитатора жидких радиоактивных отходов (ЖРО), необходимых для методической отработки технологии перевода ЖРО в не текучее состояние. Прежде всего с целью исключения обращения персонала с радиоактивными ЖРО при отработке различных технологических аспектов. В статье представлены результаты исследований необходимых, базовых физико-химических свойств ЖРО, образованных в процессе эксплуатации и при выполнении операций по выводу из эксплуатации реакторной установки БН-350 для определения основных требований к имитирующим растворам. А также методика подготовки имитаторов ЖРО различных типов для подбора сорбентов и отработки технологии смешивания и кондиционирования.

**Ключевые слова:** РУ БН-350, жидкие радиоактивные отходы, жидкая фаза, солесодержание, имитатор ЖРО.

### ВВЕДЕНИЕ

В мировой практике опыт вывода из эксплуатации промышленных реакторов на быстрых нейтронах и комплексной переработки больших объемов радиоактивных отходов (РАО) незначителен. Остановленные реакторные установки в основном находятся в режиме консервации и хранятся под наблюдением.

В зависимости от агрегатного состояния, активности, содержания радиоактивных изотопов химических элементов применяются различные способы сортировки, переработки и кондиционирования РАО. Так для кондиционирования ЖРО продолжается поиск более эффективных матричных материалов, оптимальных с точки зрения физико-химической стабильности получаемых компаундов и возможности использования для широкой номенклатуры ЖРО. Показатели качества компаундов для иммобилизации ЖРО (прежде всего водоустойчивость, радиационная и механическая устойчивость) должны отвечать действующим нормативным требованиям Республики Казахстан. Знание и понимание характеристик отходов является важным аспектом при выборе оптимальной технологии их переработки и кондиционирования.

Расположенный в городе Актау реактор БН-350 – первый в мире промышленный реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, который в настоящее время находится на этапе вывода из эксплуатации. На сегодняшний день выполнен огромный объем работ, связанный с переупаковкой топлива и размещением его на долговременное хранение на КИР «Байкал-1» филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК. Теплоноситель (натрий) первого контура был очищен от цезия и слит из корпуса и петель реактора, выполнена пассивация остатков натрия из внутренних поверхностей реактора, создана установка по переработке натрия и т.д.

В процессе эксплуатации и при выполнении операций по выводу реактора из эксплуатации образовалось более 3000 м<sup>3</sup> ЖРО. Работниками эксплуатирующей организации Актауского Мангистауского атомно-энергетического комбината (МАЭК) с помощью штатного оборудования проведено выпаривание ЖРО, в результате чего количество ЖРО было сокращено до 1535 м<sup>3</sup>. Однако при этом среднее солесодержание ЖРО выросло от 120 до 400 г/дм<sup>3</sup> в зависимости от емкости хранения. Данный объем концентрированных ЖРО находится на площадке хранения, в специальных емкостях. При этом, на текущий момент их эксплуатации, фиксируются факты контролируемой течи ЖРО, что создает дополнительную опасность. Учитывая данную ситуацию, необходимо выбрать технологию оперативного перевода ЖРО в более стабильное состояние, например с использованием простых сорбентов.

С целью изучения возможности приведения ЖРО в безопасное состояние специалистами МАЭК выполнен отбор проб ЖРО из различных емкостей хранения, которые были транспортированы в РГП НЯЦ РК для проведения НИОКР по выбору необходимой технологии.

### АДСОРБЦИЯ, КАК ПРОЦЕСС ИММОБИЛИЗАЦИИ ЖРО

Одним из довольно простых и в то же время эффективных способов перевода ЖРО в более стабильную, безопасную для хранения и захоронения не текучую форму является применение адсорбентов. Пропитка адсорбента растворами РАО с последующими стадиями удаления влаги методом испарения и кальцинации солей в порах позволяет достигнуть равномерного распределения и фиксации радионуклидов в объеме матрицы. Применение адсорбентов – это одна из ключевых мер аварийного реагирования при утечках и проливах из емкостей хранения ЖРО, данный метод позволяет локализовать аварию и предотвратить распространение загрязнения.

**ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ЖРО РУ БН-350**

Основные источники ЖРО при выводе БН-350 из эксплуатации это:

- диатомитовая и гидратная пульпа, отработанные ионообменные смолы;
- кубовые остатки первой выпарной установки;
- кубовые остатки второй выпарной установки;
- радиоактивные масла, водомасляная эмульсия.

Кубовые остатки представляют собой высокосолевыми растворами, содержащими продукты деления, радионуклиды коррозионного происхождения и вещества, используемые для дезактивации оборудования и поддержания водно-химического режима.

Образующиеся ЖРО имеют весьма различный химический состав. Поэтому смешанные в емкостях хранения ЖРО могут содержать как истинно растворенные компоненты, так и дисперсные примеси неорганического и органического происхождения. Последние представлены в ЖРО диспергированными и растворенными нефтепродуктами, в первую очередь, различного рода машинными маслами и детергентами.



Рисунок 1. Фотографии проб из емкостей хранения ЖРО

В процессе эксплуатации хранилищ ЖРО на площадке БН-350 периодически производилась откачка отстоявшейся жидкости, так называемого декантата, с целью его отделения от осадка для дальнейшей

переработки и уменьшения их объема. Декантат содержит  $120 \div 400$  г/дм<sup>3</sup> растворенных солей (хлориды, сульфаты, нитраты, гидрокарбонаты и пр.). Шлам содержит выпавшие в осадок соли, а также механические примеси (песок, пыль и т.д.). В значительно меньших количествах присутствуют пульпы ионообменных материалов и органические РАО, представленные отработанными маслами. Водные и маслосодержащие ЖРО, находящиеся в емкостях, имеют щелочную реакцию среды рН больше 12.

В целом ЖРО РУ БН-350 относятся к среднеактивным (таблица 1), радионуклидный состав представлен в основном <sup>137</sup>Cs, наличие радионуклидов <sup>134</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>60</sup>Co, <sup>54</sup>Mn, <sup>22</sup>Na – незначительное, менее 0,01%. В процессе хранения ЖРО в емкостях хранилища образовались осадки (шламы) (рисунок 1). Удельная активность <sup>137</sup>Cs в осадке емкостей не меньше, чем в ЖРО [1].

По результатам лабораторных исследований образцов ЖРО, отобранных в 2008 году, были получены количественные оценки по радионуклидному составу ЖРО из емкостей Б-02/2, Б-02/3, Б-02/5, результаты представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1. Радиоизотопный состав ЖРО в емкостях Б-02/2, Б-02/03 и Б-02/05

Содержание радионуклида, А <sub>уд</sub> (ед. измерения)	Емкости		
	Б-02/2	Б-02/3	Б-02/5
<sup>241</sup> Am, (кБк/л)	9±2	18±1	18±2
<sup>134</sup> Cs, (кБк/л)	39±6	20±3	15±2
<sup>137</sup> Cs, (МБк/л)	123±18	53±8	113±17
<sup>60</sup> Co, (кБк/л)	15±3	6±1	25±4
<sup>54</sup> Mn, (кБк/л)	< 5	< 2	< 8
<sup>125</sup> Sb, (кБк/л)	< 12	< 13	< 20
<sup>22</sup> Na, (кБк/л)	< 7	< 3	< 5
<sup>239+240</sup> Pu, (кБк/л)	< 1	2,1±0,5	6,2±1,3
<sup>90</sup> Sr, (кБк/л)	65±15	30±10	80±20

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОД ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИМИТАТОРА ЖРО**

В современных научных исследованиях, особенно химии, фармацевтике и биотехнологиях, значительное внимание уделяется ускорению экспериментальных процессов без ущерба для безопасности и точности. Одним из ключевых инструментов, которые помогают достигать этих целей, являются имитаторы растворов – специально разработанные составы, воспроизводящие физико-химические свойства, но при этом безопасные, стабильные и удобные в обращении [3–5]. Такой же подход весьма применим и для кубовых остатков ЖРО [6].

Преимущества при использовании имитаторов:

- сокращение времени исследований. Имитаторы радиационнобезопасны для персонала, они позволяют проводить опыты вне помещений соответствующего класса и не накладывают ограничений по времени контакта с ними и позволяют быстрее переходить к испытаниям с реальными отходами;

– безопасность персонала, работа с имитаторами значительно исключает риски превышения дозовых нагрузок на персонал;

– снижение затрат, использование имитаторов исключает затраты на транспортировку и утилизацию ЖРО;

– применение всего парка аналитического оборудования. Не все необходимое оборудование для научно-исследовательской работы позволяет работать с РАО, поэтому имитаторы позволяют расширить спектр проводимых исследований.

Химические и физические процессы, произошедшие в растворах ЖРО за длительное время хранения (более 25 лет), создают сложности при аналитическом определении достоверной химической формулы ЖРО. Например, слабо прогнозируемым является поведение нитратов в щелочной среде, где они могут вести себя по-разному в зависимости от присутствующих веществ:

– с соединениями Cr, Mn, Fe, а также с некоторыми неметаллами (C, S) нитрат-ионы в щелочной среде восстанавливаются до нитрит-ионов;

– с металлами (Mg, Al, Zn) в щелочной среде нитраты восстанавливаются до аммиака. Сначала выделяется атомарный водород, который и восстанавливает нитрат до аммиака.

Поэтому для приготовления имитатора с максимально приближенными основными характеристиками оригинального раствора ЖРО (плотность, содержание, водородный показатель (рН)) применен метод градиентного смешивания компонентов раствора.

Химические свойства ЖРО из емкости Б-02/1 приведены в таблице 2 [7, 8]. Проба была отобрана со среднего уровня емкости. Данная емкость выбрана по причине наиболее высокого содержания.

Таблица 2. Химический состав ЖРО

Емкость реакторной установки БН-350	Б-02/1
Сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>	340,0
Щелочность, г-экв/ дм <sup>3</sup>	0,46
Жесткость, г-экв/ дм <sup>3</sup>	0,007
Хлориды, г/дм <sup>3</sup>	33,60
Нитраты, г/дм <sup>3</sup>	25,55
Нитриты, г/дм <sup>3</sup>	2,75
Аммоний, г/дм <sup>3</sup>	0,042
Железо, г/дм <sup>3</sup>	0,001
Окисляемость, г/дм <sup>3</sup>	2,28
Сульфаты, г/дм <sup>3</sup>	24,50
Кремнекислота, г/дм <sup>3</sup>	0,580
Оксалаты, г/дм <sup>3</sup>	74,5
Гидрокарбонаты, г/дм <sup>3</sup>	0,280
СПАВ, г/дм <sup>3</sup>	0,050
Плотность раствора, г/см <sup>3</sup>	1,13
рН среды	12

Максимально полное соответствие свойств приготовленных имитаторов реальным ЖРО является при этом основным требованием. Кроме того, приготовление имитатора должно быть относительно простым, позволяющим получать его значительные количества в короткие промежутки времени, производить варьирование имитируемых свойств, иметь низкую себестоимость. Таким образом, принимая во внимание химический состав и физические свойства реального ЖРО и проведя ряд пробных экспериментов с реальным и пробными растворами был предложен следующий алгоритм создания имитатора.

Во-первых, на основе предварительного анализа были выделены ключевые характеристики, определяющие реагирование водного раствора-имитатора с адсорбентами: рН среды, солесодержание. Это позволило сформировать экспериментальные серии имитаторов, в которых варьировались только отдельные факторы.

Во-вторых, сравнение поведения растворов-имитаторов с реальными ЖРО позволило выделить закономерности, сохраняющиеся при переходе от идеализированных условий к практическим. Такое сопоставление показало, какие компоненты оказывают доминирующее влияние на устойчивость имитатора, на процессы осаждения, а также на изменение физико-химических свойств имитатора.

В-третьих, результаты серии экспериментов были интегрированы в логическую схему принятия решений:

- анализ целевого раствора;
- выбор безопасных заменителей, подбор растворимых в воде и не реагирующих друг с другом компонентов;
- разработка рецептуры, определение первоначальных пропорций компонентов;
- корректировка свойств имитатора, путем изменения пропорций компонентов.

Для приготовления имитатора ЖРО, моделирующего раствор из емкости Б-02/1, использовались хорошо растворимые в воде химические реактивы марок «Химически чистый» и «Чистый для анализа», а также вода дистиллированная вода (ГОСТ 6709-72).

Количество вносимых реактивов рассчитывалось по формуле:

$$m = \frac{Mr_{\text{реактива}} \times \text{содержание аниона или катиона в ЖРО, (г / дм}^3)}{Mr_{\text{аниона или катиона в реактиве}}},$$

где  $m$  – масса добавленного реактива.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Имитатор ЖРО из емкости Б-02/1 представляет собой щелочной раствор, так как реальные ЖРО представляют собой промывные воды после очистки оборудования и помещений от остатков натрия, в основной состав которого входит более пяти компонентов. Расчетный компонентный состав имитатора приведен в таблице 3.

Таблица 3. Химический состав имитатора ЖРО (расчетные значения)

Основные компоненты	Реактив	Количество реактива, г/дм <sup>3</sup>
Щелочность	NaOH	18,4
Жесткость	CaCl <sub>2</sub>	0,39
Хлориды	KCl	70,5
Нитраты	KNO <sub>3</sub>	41,6
Нитриты	NaNO <sub>2</sub>	4,13
Аммоний	NH <sub>4</sub> Cl	0,12
Железо	FeSO <sub>4</sub>	0,003
Сульфаты	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	36,24
Кремнекислота	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0,93
Оксалаты	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	76,19
Гидрокарбонаты	NaHCO <sub>3</sub>	0,386
СПАВ	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>11</sub> OSO <sub>3</sub> Na	0,05

Для подтверждения модельного соответствия, после приготовления имитатора проводились лабораторные исследования его физико-химических свойств.

Корректировка pH раствора-имитатора до 12,0 производилась с помощью раствора гидроксида натрия. Результаты исследований конечного имитатора ЖРО приведены в таблице 4. Кубовые остатки АЭС (ЖРО из емкости Б-02/1) обладают ярко выраженной щелочной реакцией, поэтому в них протекает процесс хемосорбции углекислого газа с образованием карбонатов и гидрокарбонатов [9]. После определения количества сухого остатка в имитаторе, выполнена корректировка его количества путем добавления гидрокарбоната натрия. Полученный щелочной раствор был прозрачен и стабилен.

Таблица 4. Параметры имитатора ЖРО

Наименование определяемых компонентов	Результаты испытаний	Единица измерения	Методы анализа, методика
Водородный показатель	12,0	pH	по универсальной индикаторной бумаге
Плотность	1,176	г/дм <sup>3</sup>	пикнометрический метод определения плотности по ГОСТ 26449.1-85, п.1
Сухой остаток	238,3	г/дм <sup>3</sup>	определение сухого остатка по ГОСТ 26449.1-85, п.3
Щелочность	3,20	г-экв/дм <sup>3</sup>	титриметрический метод определения общей щелочности по ГОСТ 26449.1-85, п.6

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные работы по анализу и изучению свойств ЖРО РУ БН-350 позволили разработать методику создания модельного раствора имитирующего, по основным физико-химическим свойствам, ЖРО с варьируемым содержанием. В результате проведенной работы приготовлен имитатор ЖРО с приближенными физико-химическими свойствами к реальным ЖРО. Полученные резуль-

таты позволили приступить к исследованиям по первоначальному поиску и выбору сорбирующего вещества для перевода ЖРО в не текучее состояние. Минеральные матрицы сорбентов по-разному взаимодействуют с насыщенными солевыми щелочными растворами и конечное преобразование может меняться от желеобразного до твердого, в зависимости от состава и соотношения используемых компонентов. На различных сорбентах была проверена их поглощательная способность с имитаторами ЖРО. Использование в поисковых экспериментах имитатора ЖРО позволяет провести испытания с большим количеством материала, при этом не создавая дозовой нагрузки на персонал. Кроме того, на имитаторе ЖРО могут быть отработаны и технические решения для реализации технологии переработки ЖРО.

*Работа проводилась при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках программы BR24993140 «НИИ по обоснованию выбора и реализации технологии переработки жидких радиоактивных отходов».*

### ЛИТЕРАТУРА

- Коровина О.Ю., Лукашенко С.Н., Каширский В.В. К вопросу об эффективности технологии переработки жидких радиоактивных отходов реакторной установки БН-350 // Вестник НЯЦ РК. – 2011. – Вып. 2. – С. 20–27.
- Отчет по 1-му этапу работ: «Сбор локальных нормативно-правовых актов, сбор исходных данных по статусу РУ БН-350, проведение приоритизации работ по ВЭ БН-350». НТЦ БЯТ, Алматы, 2021 год.
- Парутин К.А., Шайдуллин С.М., Ремизова В.А., Козлов П.В. Разработка состава цементной матрицы для иммобилизации щелочных высокоактивных отходов радиохимического производства // Цемент и его применение. – 2023. – Вып. 3.
- Мартынов К. В., Захарова Е. В. Факторы выщелачивания фосфатной матрицы в условиях глубинного захоронения // Радиоактивные отходы. – 2023. – Вып. 2.
- Буленова К. Ж., Панова Е. Н., Блынский П. А., Яковлев И. Л., Жаксыбекова К. А. Разработка технологии защиты подземных вод от <sup>137</sup>Cs на территории реакторной установки БН-350 // Радиохимия. – 2017. – Т. 59. – № 6. – С. 567–572.
- Варлаков А. П., Жеребцов А. А., Петров В. Г., Капустин В. В., Варлакова Г. А., Власова И. Э., Харитонов И. Д., Калмыков С. Н. Оценка радиационных и температурных нагрузок на цементный компаунд, содержащий имитаторы радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. – 2020. – № 1 (10). – С. 66–72.
- Технико-экономическое обоснования проекта «Вывод из эксплуатации РУ БН-350 в г. Актау Мангистауской области на площадке ТОО «МАЭК-Казатомпром», книга 2.
- «Результаты химического состава ЖРО» № 29-407-01/2177 от 13.12.2023 года.
- Старкова А.В., Махоткин А.Ф., Балыбердин А.С., Махоткин И.А. Закономерности кинетики химических реакций, протекающих при хемосорбции углекислого га-

за щелочными растворами, и разработка высокоэффективного аппарата для интенсификации процесса. // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – Вып. 15. – С. 62–70.

## REFERENCES

1. Korovina O.Yu., Lukashenko S.N., Kashirskiy V.V. K voprosu ob effektivnosti tekhnologii perera-botki zhidkikh radioaktivnykh otkhodov reaktornoy ustanovki BN-350 // Vestnik NYaTs RK. – 2011. – No. 2. – P. 20–27.
2. Otchet po 1-mu etapu rabot: “Sbor lokal'nykh normativno-pravovykh aktov, sbor iskhodnykh dannykh po statusu RU BN-350, provedenie prioritizatsii rabot po VE BN-350”. NTTs BYaT, Almaty, 2021 god.
3. Parutin K.A., Shaydullin S.M., Remizova V.A., Kozlov P.V. Razrabotka sostava tsementnoy matritsy dlya immobilizatsii shchelochnykh vysokoaktivnykh otkhodov radiokhimicheskogo proizvodstva // Tsement i ego primenenie. – 2023. – No. 3.
4. Martynov K. V., Zakharova E. V. Faktory vyshchelachivaniya fosfatnoy matritsy v usloviyakh glubinnogo zakhroneniya // Radioaktivnye otkhody. – 2023. – No. 2.
5. Bulenova K. Zh., Panova E. N., Blynskiy P. A., Yakovlev I. L., Zhaksybekova K. A. Razrabotka tekhnologiy zashchity podzemnykh vod ot  $^{137}\text{Cs}$  na territorii reaktornoy ustanovki BN-350 // Radiokhimiya. – 2017. – Vol. 59. – No. 6. – P. 567–572.
6. Varlakov A. P., Zherebtsov A. A., Petrov V. G., Kapustin V. V., Varlakova G. A., Vlasova I. E., Kharitonov I. D., Kalmykov S. N. Otsenka radiatsionnykh i temperaturnykh nagruzok na tsementnyy kompaund, sodержashchiy imitatory radioaktivnykh otkhodov // Radioaktivnye otkhody. – 2020. – Vol. 1 (10). – P. 66–72.
7. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovaniya proekta “Vyvod iz ekspluatatsii RU BN-350 v g. Aktau Mangi-stauskoy oblasti na ploshchadke TOO ‘MAEK-Kazatomprom”, book 2.
8. “Rezultaty khimicheskogo sostava ZhRO” No. 29-407-01/2177 ot 13.12.2023 goda.
9. Starkova A.V., Makhotkin A.F., Balyberdin A.S., Makhotkin I.A. Zakonomernosti kinetiki khimicheskikh reaktsiy, protekayushchikh pri khemosorbtsii uglekislogo gaza shchelochnymi rastvorami, i razrabotka vysokoeffektivnogo apparata dlya intensivatsii protsessov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2011. – No. 15. – P. 62–70.

### БН-350 РЕАКТОРЫНЫҢ СҰЙЫҚ РАДИОАКТИВТІ ҚАЛДЫҚТАРЫНЫҢ ИМИТАТОРЛАРЫН ЖАСАУ

**Л. С. Чернова\***, А. Г. Коровиков, В. В. Бакланов

*ҚР ҰАО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан*

\* Байланыс үшін E-mail: chernova@nnc.kz

Осы жұмыс СРҚ-ны тұрақсыз жағдайға ауыстыру технологиясын әдістемелік пысықтау үшін қажетті сұйық радиоактивті қалдықтардың (СРҚ) имитаторын құру мәселесіне арналған. Ең алдымен әртүрлі технологиялық аспектілерді пысықтау кезінде персоналдың радиоактивті СРҚ-мен жұмыс істеуін болдырмау мақсатында. Мақалада пайдалану процесінде және имитациялық ерітінділерге қойылатын негізгі талаптарды айқындау үшін БН-350 реакторлық қондырғыны пайдаланудан шығару жөніндегі операцияларды орындау кезінде пайда болған СРҚ-ның қажетті базалық физикалық-химиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. Сондай-ақ сорбенттерді іріктеу және араластыру және баптау технологиясын пысықтау үшін СРҚ түрлі үлгідегі имитаторларды дайындау әдістемесі.

**Түйін сөздер:** БН-350 РҚ, сұйық радиоактивті қалдықтар, сұйық фаза, тұз құрамы, СРҚ имитаторы.

### CREATION OF SIMULANTS OF LIQUID RADIOACTIVE WASTE OF THE BN-350 REACTOR

**L. S. Chernova\***, A. G. Korovikov, V. V. Baklanov

*Branch “Institute of Atomic Energy” RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan*

\* E-mail for contacts: chernova@nnc.kz

This research is devoted to the development of simulants of liquid radioactive waste (LRW), which are necessary for methodical testing of technologies to convert LRW into a non-flowing state. The main goal is to eliminate direct handling of radioactive LRW by personnel during the testing of various technological procedures. The paper presents the results of studies on the essential basic physicochemical properties of LRW generated during the operation and decommissioning of the BN-350 reactor facility, to determine the main requirements for simulant solutions. Additionally, a methodology for preparing different types of LRW simulants is described, aimed at selecting sorbents and optimizing mixing and conditioning technologies.

**Keywords:** BN-350 RF, liquid radioactive waste, liquid phase, salt content, LRW simulant.