

## ОПЫТ ЗАХОРОНЕНИЯ ОНАО: ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ РОССИИ

И. Л. Абалкина

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 8 ноября 2018 г.

*В статье рассмотрена практика захоронения очень низкоактивных радиоактивных отходов в некоторых странах. Показаны национальные особенности классификации данной категории отходов, дан анализ преимуществ ее использования. Рассмотрена специфика регулирования пунктов захоронения отходов очень низкой активности по сравнению с другими объектами.*

**Ключевые слова:** захоронение радиоактивных отходов, очень низкоактивные радиоактивные отходы, обращение с радиоактивными отходами.

Появлению в федеральном законе об обращении с РАО категории очень низкоактивных радиоактивных отходов (ОНАО)<sup>1</sup> предшествовал серьезный анализ мирового опыта захоронения РАО и состояния дел в атомной отрасли, осуществленный российскими специалистами. На этапе подготовки законопроекта детально разбиралась новая схема классификации РАО, включавшая класс ОНАО, которая была представлена в вышедшем в 2009 году Руководстве по безопасности МАГАТЭ № GSG-1 [1]. Практический

опыт также предметно изучался, прежде всего, на примере эксплуатации пунктов захоронения ОНАО в Швеции и Франции. Этой и более широкой тематике были посвящены обзоры международного опыта захоронения РАО [2] и технических и экономических преимуществ введения категории ОНАО [3], подготовленные шведским консультантом SKB International AB, другие публикации [4, 5], а также семинары и обсуждения, проводившиеся в ИБРАЭ РАН в 2009—2011 годах. Отдельно вопросам ОНАО был посвящен рабочий семинар, организованный в Стокгольме шведским регулятором SSM в октябре 2010 года.

Учитывая, что международный опыт организации системы обращения с РАО уже более десятилетия является предметом активного изучения, на сегодняшний день приоритетом является его практическая реализация. Такая задача ставится, пути ее решения, включая развитие нормативно-правовых подходов в части ОНАО [6] и учет фактора образования РАО при выборе способов дезактивации и демонтажа в конкретных проектах вывода из эксплуатации [7], прорабатываются. По нашему мнению, следует сосредоточить усилия в этом направлении и обеспечить наиболее быстрый старт захоронения ОНАО, к которому есть все предпосылки. Это самый простой с точки зрения обращения

<sup>1</sup> В российских нормативных документах аббревиатура ОНАО используется для обозначения промышленных отходов, содержащих техногенные радионуклиды (Санитарные правила СП 2.6.6.2572-2010). В соответствии с российской классификацией такие отходы не относятся к РАО. В ряде стран (например, во Франции) такой класс отходов, как промышленные отходы с повышенным уровнем радиоактивности, не предусмотрен. В свою очередь, в отношении очень низкоактивных РАО (в терминологии федерального закона об обращении с радиоактивными отходами) специалисты используют аббревиатуру ОНРАО, хотя в литературе, в том числе упоминаемой в настоящей статье [2, 3, 5, 13], встречается и сокращение ОНАО. В целях единообразия терминологии в настоящей статье аббревиатура ОНАО используется для обозначения очень низкоактивных радиоактивных отходов в классификации МАГАТЭ для целей захоронения, а также близких аналогов таких отходов в национальных классификациях, включая российскую. При этом особенности национальных классификаций указаны в тексте.

класс отходов, что подтверждается обширным мировым опытом. На наш взгляд, целесообразно осваивать практику захоронения, начиная с этого наиболее простого, очевидного и массового сегмента. С позиций повышения эффективности и снижения стоимости обращения с РАО в России рутинный процесс захоронения ОНАО позволит достаточно быстро и недорого избавлять эксплуатирующие организации от необходимости поиска и обустройства мест хранения на площадках, во многих случаях стесненных.

Цель настоящей статьи — рассмотреть накопленный в различных странах опыт обращения с ОНАО с фиксацией отдельных особенностей национальных систем регулирования и тех трендов, которые наметились за последнее десятилетие. Особое внимание будет уделено вопросам, которые ранее не были отражены в публикациях или, по нашему мнению, не получали достаточного развития.

### ОНАО как класс РАО

Руководство по безопасности МАГАТЭ № GSG-1 определяет ОНАО как отходы, которые не обязательно соответствуют критериям освобожденных от контроля, но которые в то же время не требуют высокого уровня локализации и изоляции и подходят для захоронения на установках приповерхностного захоронения (траншеи с земляной засыпкой) с ограниченным регулирующим контролем. В документе также отмечается необходимость определения критериев приемлемости для инженерных приповерхностных пунктов захоронения, чтобы определить, можно ли отнести конкретный вид отходов к классу ОНАО [1].

Связь классификации отходов и условий захоронения четко прослеживается в странах, которые давно осуществляют такую деятельность.

Критерии приемлемости отходов служат основой классификации РАО в Швеции, Франции, Испании — странах, уже десятилетиями практикующих захоронение. В указанных странах, а также Литве и Японии ОНАО выделены в отдельный класс (табл. 1). Нижней границей отнесения к ОНАО могут служить значения концентрации активности, приводимые в Руководстве по безопасности МАГАТЭ № RS-G-1.7 «Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля» (Великобритания, Швеция, Япония), а верхней — специальные критерии, устанавливаемые для таких отходов конкретными пунктами захоронения. Следует оговорить, что хотя в табл. 1, приводимой по публикации Агентства по ядерной энергии ОЭСР [8], концентрация активности указывается в качестве критерия для ОНАО во Франции, это отражает скорее практику, чем систему классификации. В национальном докладе этой страны подчеркивается, что «требуются множественные критерии для определения приемлемости конкретных отходов в конкретном пункте. Обладатели лицензий пунктов захоронения устанавливают характеристики для определения приемлемых упаковок отходов. Именно соответствие этим характеристикам и определяет в конечном итоге категорию конкретных отходов» [9].

В других странах ОНАО не выделяются в качестве самостоятельного класса РАО, но могут указываться обособленно в рамках класса НАО. Например, в Великобритании ОНАО — это подкласс НАО, разделенный на две составляющие: ОНАО малого объема и ОНАО большого объема. В первом случае это «радиоактивные отходы, которые могут быть безопасно захоронены на полигонах без специальных требований вместе с муниципальными, коммерческими или промышленными отходами (захоронение мусора), и каждый 0,1 м<sup>3</sup> которых содержит менее 400 кБк

Таблица 1. Характеристики ОНАО, используемые в некоторых странах [8]

Страна	Нижняя граница отнесения к ОНАО	Верхняя граница отнесения к ОНАО	Критерии для ОНАО
Австралия	GSG-1	GSG-1	GSG-1
Чехия	рассматриваются как подкласс НАО	рассматриваются как подкласс НАО	включая NORM
Финляндия	рассматриваются как подкласс НАО/CAO	рассматриваются как подкласс НАО/CAO	могут быть освобождены или рециклированы
Франция	*	< 100 Бк/г	концентрация активности
Германия	рассматриваются как подкласс РАО с незначительным тепловыделением	рассматриваются как подкласс РАО с незначительным тепловыделением	*
Япония	RS-G-1.7	специальные критерии	условия захоронения
Словения	рассматриваются как подкласс НАО/CAO	рассматриваются как подкласс НАО/CAO	*
Испания	*	специальные критерии	условия захоронения
Швеция	RS-G-1.7	специальные критерии	происхождение отходов + условия захоронения
Швейцария	*	*	*
Великобритания	RS-G-1.7	специальные критерии	комплексные критерии
США	*	*	*

\* Не используются в национальных инвентарных списках.

активности или менее 40 кБк в отдельных предметах». Для отходов, содержащих С-14 или Н-3, установлен предельный уровень активности в 4000 кБк в совокупности для обоих нуклидов для каждого 0,1 м<sup>3</sup> или 400 кБк для отдельного предмета. После удаления таких отходов с площадки дальнейший контроль за захоронением не требуется. ОНАО большого объема это «радиоактивные отходы с максимальной концентрацией активности 4 МБк/т, которые могут быть захоронены на определенных полигонах». Для отходов, содержащих Н-3, лимит составляет 400 МБк/т. Требуется контроль за захоронением таких отходов в порядке, установленном природоохранными органами. Принципиальная разница между указанными ОНАО заключается в том, что во втором случае контролю подлежит общий объем захоронения ОНАО на одном полигоне [10].

В России для отнесения отходов к РАО значения удельных активностей техногенных радионуклидов должны быть выше уровней, установленных постановлением Правительства России № 1069 от 19.10.2012. В российской классификации ОНАО — это отходы 4 класса, к которому относятся ТРО, содержащие радионуклиды с удельной активностью до 10<sup>7</sup> Бк/г для тритий-содержащих радиоактивных отходов, до 10<sup>5</sup> Бк/г — для радиоактивных отходов, содержащих бета-излучающие радионуклиды (за исключением трития), до 10<sup>2</sup> Бк/г — для радиоактивных отходов, содержащих альфа-излучающие радионуклиды (за исключением трансурановых), до 10 Бк/г — для радиоактивных отходов, содержащих трансурановые радионуклиды, и подлежащие захоронению в пунктах приповерхностного захоронения РАО, размещаемых на одном уровне с поверхностью земли [11].

### Объемы хранения и захоронения ОНАО

В зависимости от принятой в стране классификации РАО в одних случаях нижней границей отнесения к РАО будут являться ОНАО, в других НАО<sup>2</sup>. Это несколько затрудняет межстрановые сравнения по объемам хранения и захоронения ОНАО и НАО. На это обстоятельство указывает МАГАТЭ в своей недавней публикации [10], используя для оценок классификацию GSG-1, к которой были приведены данные по отдельным странам. В табл. 2 представлены общемировые оценки объемов хранения и захоронения РАО различных классов с учетом объемов упаковок РАО. В настоящее время в мире захоронено 77 %

**Таблица 2. Объемы хранения и захоронения РАО различных классов в мире, м<sup>3</sup> [10]**

Класс РАО	ТРО		ЖРО	
	хранение	захоронение	хранение	захоронение
ОНАО	2 356 000	7 906 000	нет данных	нет данных
НАО	3 479 000	20 451 000	53 332 000	39 584 000
САО	460 000	107 000	6 253 000	8 628 000
ВАО	22 000	0	2 786 000	68 000

твердых ОНАО и 85 % твердых НАО, что свидетельствует о широком распространении и рутинности данной практики. Фактически, если страна осуществляет захоронение НАО, то она осуществляет и захоронение ОНАО, однако вопрос в том, используются ли при этом различные установки для захоронения. Если говорить о сравнении с другими классами, то ОНАО и НАО составляют более 95 % мирового объема РАО при соответственно 0,5 % и 1,5 % накопленной активности (рис. 1).

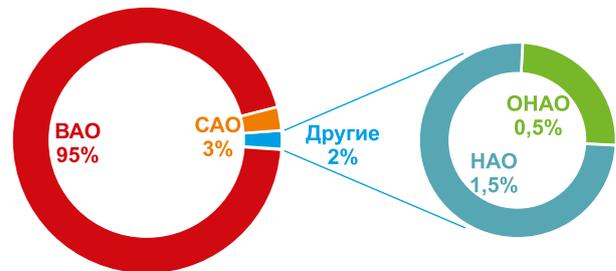


Рис. 1. Распределение активности в мировом объеме РАО различных классов, % [10]

Приведем краткие сведения по захоронению ОНАО в ряде стран. В Швеции хранилища ОНАО есть на всех АЭС, за исключением Барсебака, а также на площадке центра ядерных исследований в Студсвике, объемы захоронения представлены в табл. 3. Барсебак стал исключением из-за условий площадки, которые не подходили для размещения хранилища, и на этой АЭС класс ОНАО для целей захоронения не применяется. Горючие НАО (включая ОНАО) сжигаются с последующим захоронением золы в SFR — объекте захоронения короткоживущих НАО и САО в Форсмарке [3]. Захоронение ОНАО в Швеции осуществляется более 30 лет.

Во Франции все ОНАО размещаются в централизованном пункте захоронения CIREС, рассчитанном на прием 650 000 м<sup>3</sup> отходов. В литературе также можно встретить его название по месту расположения площадки — Morviller [13, 14]. CIREС эксплуатируется с 2003 г., на конец 2016 г. там размещено 360 000 м<sup>3</sup> ОНАО. При этом на конец 2015 г. на хранении для последующего захоронения в CIREС находилось еще 154 000 м<sup>3</sup> ОНАО [9].

В Испании захоронение ОНАО осуществляется в централизованном пункте захоронения El Cabril, который эксплуатируется с 1992 г.

<sup>2</sup> Отдельно оговорим, что во Франции нижней границы отнесения к РАО нет, к РАО относятся все отходы из определенного источника их образования (прежде всего, на базовых ядерных установках согласно плану зонирования отходов), и такие отходы требуют размещения в специализированных хранилищах. В настоящее время возможность освобождения отходов является предметом обсуждения.

Таблица 3. Инвентаризационные списки ОНАО, захороненных в Швеции [12]

Площадка	Условия лицензий			Отходы, размещенные на 31.12.2016		
	Лицензия до	Объем, м <sup>3</sup>	Макс. активность/макс. альфа-активность (ГБк)	Масса (т)	Объем, м <sup>3</sup>	Активность, ГБк
Форсмарк	2070	17 000	200/0,2	4 395	6 572	34,3
Оскаршамн	2075	10 000	200/0,2	5 415	10 949	37
Рингхальс	2060	10 000	1100/0,1	5 360	9 180	265
Студсвик (Свафо)*	2040	1 540	100/0,1	1 151	1 140	28

\* Объекты закрыты.

Однако специальная зона для захоронения ОНАО появилась в нем только в 2008 г. Она состоит из четырех отсеков совокупной разрешенной мощностью в 130 000 м<sup>3</sup>, которая, как предполагается, позволит разместить отходы от вывода из эксплуатации ядерных объектов. Отсек для захоронения представляет собой заглубленную траншею, оснащенную несколькими слоями дренажа и водонепроницаемых материалов (рис. 2), которая после заполнения покрывается защитными слоями, включающими в том числе гравий, глину, грунт и растительное покрытие. Первый отсек мощностью 30 000 м<sup>3</sup> уже заполнен, с 2016 г. начата эксплуатация второго, рассчитанного на прием 39 000 м<sup>3</sup> ОНАО (в нем 2 секции, расположенные одна над другой), в последующем будет осуществлено сооружение следующих траншей. Основной поток ОНАО ожидается от выводимых из эксплуатации объектов (напомним, что оператор централизованного пункта захоронения — ENRESA — в соответствии с возложенными на него полномочиями осуществляет также вывод из эксплуатации). На конец 2016 г. в El Cabril было захоронено 32 198 м<sup>3</sup> ОНАО, еще 3 912 м<sup>3</sup> находилось на хранении. Определенные объемы ОНАО (в целом более 7 000 м<sup>3</sup>) также хранятся на площадках в месте их образования [15].

Политика в отношении обращения с ОНАО не обязательно предполагает их захоронение в качестве РАО. Например, в Австрии и Китае для отходов, классифицируемых в соответствии с GSG-1 как ОНАО, это выдержка для распада и



Рис. 2. Общий вид одной из траншей хранилища ОНАО в El Cabril [15]

последующее освобождение. В Нидерландах хранение осуществляет национальный оператор COVRA, затем отходы также освобождаются от контроля. Финляндия и Италия применяют для таких отходов освобождение, повторное использование или захоронение на полигонах для промышленных отходов. Великобритания также захоранивает ОНАО на обычных полигонах [10].

### Особенности эксплуатации пунктов захоронения ОНАО

Технические аспекты захоронения ОНАО довольно подробно рассматривались в ряде публикаций [4, 11], а вопросы классификации РАО в различных странах, в том числе захоронения ОНАО в Испании, отражены в обзоре зарубежных практик захоронения [14]. Во избежание повторов кратко остановимся на отдельных аспектах практики захоронения в Швеции и Франции, проведя сравнение действующих хранилищ по ряду позиций.

#### Отличия в регулировании пунктов захоронения ОНАО и других объектов

Пункт централизованного захоронения ОНАО во Франции CIREС не относится к базовым ядерным установкам. На него распространяются положения законодательства, действующие в отношении установок, предназначенных для защиты окружающей среды [9].

#### Оператор объекта

В Швеции операторами объектов захоронения ОНАО являются атомные станции, на территории которых они расположены, другие установки захоронения, как действующие, так и планируемые, находятся в ведении национального оператора — компании SKB. Во Франции оператором всех объектов захоронения, в том числе CIREС, является национальный оператор ANDRA.

#### Типы хранилищ

Наземные насыпные (на АЭС Швеции). Траншейного типа (Студсвик, Швеция и CIREС, Франция).

#### Происхождение отходов

CIREС принимает отходы различных производителей, в том числе институциональных. Шведские хранилища принимают отходы, производимые на площадке их размещения.

### Состав отходов

В Студсвике размещены отходы от вывода из эксплуатации старых установок и эксплуатационные отходы объектов на его площадке. На площадках шведских АЭС захораниваются эксплуатационные отходы. Они представлены пластиком, одеждой, бумагой, металлоломом, изоляционными материалами, деревом, резиной. Такой же состав характерен для твердых эксплуатационных ОНАО во Франции. Но преобладающий объем ОНАО в CIREС — это отходы от вывода из эксплуатации. Кроме того, CIREС может принимать на захоронение также и TENORM (технологически обогащенные отходы, содержащие природные радионуклиды), которые не могут быть захоронены на промышленных полигонах [9].

### Компактирование

На шведских АЭС бумага, пластик, одежда и другие отходы компактируются и прессуются в брикеты. 30% поступающих в CIREС отходов предварительно поступают на установки компактирования и отверждения, некомпактируемые отходы (например, каменный лом и металлолом) после выдержки захораниваются без обработки [14].

### Упаковки

Различного типа для разных отходов (контейнеры, канистры), также используются самые простые упаковки типа пластиковых пакетов. В CIREС крупногабаритные ОНАО могут захораниваться без упаковки.

### Крупногабаритные отходы

CIREС с 2013 года принимает крупногабаритные отходы. Четыре парогенератора АЭС Choоз были захоронены без разделки и упаковки после масштабной дезактивации, позволившей понизить класс отходов с короткоживущих НАО/САО до ОНАО. Хотя такое решение не обязательно будет распространено на действующие АЭС, в 2016 году было начато строительство траншеи, предназначенной для этого типа отходов [9].

### Периодичность захоронения

В Швеции из-за малого объема образования отходов захоронение ОНАО на отдельных площадках производится кампаниями раз в 3—5 лет, на каждую кампанию получается разрешение уполномоченных органов. CIREС осуществляет прием ОНАО непрерывно.

### Планы по развитию мощностей захоронения

Рассматриваются и в Швеции, и во Франции.

В Швеции РАО, образуемые при выводе из эксплуатации реакторов на АЭС Оскаршамн и Рингхальс, должны будут какое-то время храниться на площадке в ожидании расширения хранилища SFR или строительства хранилища SFL. В связи с этим операторы АЭС исследуют возможности

приповерхностного захоронения ОНАО от вывода из эксплуатации на своих площадках [12].

Во Франции признается проблема потенциальной нехватки мощностей хранилища CIREС, несмотря на значительную его емкость. В ходе текущей и будущей деятельности по выводу из эксплуатации будет образовано большое количество отходов, в связи с чем анализируются пути повышения эффективности обращения с ОНАО, включающие как расширение возможностей захоронения, так и снижения объемов отходов за счет обработки и повторного использования материалов. В том числе рассматриваются: возможность увеличения мощностей CIREС без расширения площадки; возможность создания нового пункта захоронения ОНАО; осуществимость создания пунктов захоронения на площадках производителей отходов; консолидация оценок объемов образования ОНАО со стороны производителей отходов; снижение объемов отходов и исследование возможностей повторного использования для некоторых видов материалов; сравнение экологических эффектов прямого захоронения и использования промышленных установок сжигания для горючих ОНАО; исследование возможности использования ОНАО в виде буферного материала для заполнения пустот в CIREС и др. [9].

### Преимущества использования категории ОНАО

Основные преимущества введения категории ОНАО — это простота и экономичность обращения с отходами. Требования по размещению пунктов захоронения ОНАО достаточно легко удовлетворить, и в большинстве случаев такие объекты могут быть сооружены на действующих ядерных площадках. Стоимость захоронения 1 м<sup>3</sup> ОНАО приблизительно находится в диапазоне от одной десятой до одной пятой от стоимости захоронения 1 м<sup>3</sup> НАО. Общая стоимость захоронения 1 м<sup>3</sup> ОНАО (инвестиционные и эксплуатационные расходы) оценивалась в 350 и 370 евро на шведских АЭС Оскаршамн и Рингхальс, а на АЭС Форсмарк составила 200 евро на первом полигоне и 540 на втором (во втором случае была более сложная конструкция хранилища, причем 20% стоимости пришлось на экспертизу и согласование проекта регулятором). Для сравнения: средняя стоимость захоронения в SFR составляет 4 500 евро/м<sup>3</sup>, но в тех частях SFR, где установлено меньше инженерных барьеров, стоимость захоронения меньше [3].

Стоимость размещения 1 м<sup>3</sup> ОНАО в CIREС (без транспортировки) составила в первые годы эксплуатации 200 евро (расчет для более чем 90 000 м<sup>3</sup> захороненных отходов). Для сравнения: захоронение 1 м<sup>3</sup> короткоживущих НАО/САО в находящемся поблизости центре Л'Об обходилось около 2 700 евро [3].

Как уже отмечалось, класс ОНАО выделяется не во всех странах. Кроме того, опыт захоронения в значительной степени отражает принятые в стране бизнес-подходы, например, будет ли оператор государственной компанией или частной. В этой связи кратко рассмотрим опыт организации захоронения РАО в США, который отличен от европейского.

В США используются две системы классификации РАО в зависимости от их происхождения — гражданского (коммерческого) и военного сектора. «Гражданские» РАО классифицируются на основе приемлемости для захоронения. НАО подразделяются на классы А, В, С и «больше чем класс С», которые, в силу сочетания коротко- и долгоживущих радионуклидов, отличаются постепенным ужесточением требований к захоронению [8]. Классы А, В, С могут быть размещены в пунктах приповерхностного захоронения, отходы «больше чем класс С» требуют геологического захоронения. Аналогом ОНАО можно условно считать отходы класса А, к захоронению которых предъявляются наименее жесткие требования.

В настоящее время в США в коммерческой эксплуатации находятся четыре пункта захоронения НАО: Andrews Count (шт. Техас), Barnwell (шт. Южная Каролина), Clive (шт. Юта) и Richland (шт. Вашингтон). Clive принимает только класс А и смешанные отходы (к смешанным относят отходы, содержащие, помимо радионуклидов, другие химически опасные вещества), остальные площадки принимают классы А, В, С. С точки зрения регулирования особенностью указанных пунктов захоронения является то, что они лицензируются штатами, а не Комиссией по ядерному регулированию (NRC). Это возможно на основе делегирования NRC таких полномочий в случае, если законодательство штата в данной области отвечает требованиям федерального регулирования. NRC сама может лицензировать такие объекты, но сегодня все действующие площадки имеют лицензии именно на уровне штатов. Другая особенность регулирования — это происхождение отходов. Clive может принимать РАО от производителей по всей территории США (при поступлении из ряда регионов может потребоваться согласие штата Юта), остальные площадки — только из группы

штатов, заключивших между собой соглашение по приему в конкретный пункт образуемых на их территории отходов. Например, для площадки Andrews Count это штаты Техас и Вермонт. В некоторых случаях возможно поступление РАО из других регионов, но для этого потребуются одобрение со стороны принимающего штата. Законодательное закрепление такой системы регулирования делает захоронение более приемлемым с общественной точки зрения (конкретный штат принимает только РАО, произведенные на его территории и в сопредельных штатах, или же, в случае Clive, только отходы класса А) и тем самым обеспечивает наличие соответствующих мощностей.

В таблице 4 представлены данные NRC [16] по захоронению НАО на указанных площадках за 2014—2017 годы. Объемы и активность существенно отличаются по годам, что обусловлено типами и количествами РАО, поступающими на захоронение. В то же время основной объем — до 99% в отдельные годы — приходится на площадку Clive. Т. е. класс А (или, условно говоря, ОНАО) представляет собой преимущественный поток отходов.

Площадка Clive расположена в пустыне шт. Юта в 120 км от г. Солт-Лейк-Сити и эксплуатируется компанией EnergySolutions. Она принимает следующие виды отходов класса А: загрязненный грунт после реабилитации; РАО, образуемые на АЭС, а также демонтируемое оборудование; радиоактивный материал с реабилитируемых площадок Министерства энергетики США; загрязненные радионуклидами медицинские отходы. Стоимость захоронения в Clive составляет порядка 2 600 евро/м<sup>3</sup>. Для сравнения: стоимость захоронения отходов класса В и С на площадке Andrews Count составит 133 000 евро/м<sup>3</sup> в случае, если они поступят из штата, не входящего в соглашение. В ряде случаев возможно размещение отходов и на обычных полигонах, имеющих соответствующие лицензии. Например, полигон оператора US Ecology в шт. Айдахо может принимать опасные отходы, а также отходы с гамма-активностью до 0,6 Бк/г, стоимость захоронения обычно составляет менее 550 евро/м<sup>3</sup> [17]. Отметим, что на практике операторы могут делать существенные скидки в случае контракта на большой объем отходов.

Таблица 4. Захоронение НАО в США: объемы (м<sup>3</sup>) и активность (Ки)

Пункт захоронения	2014		2015		2016		2017	
	м <sup>3</sup>	Ки	м <sup>3</sup>	Ки	м <sup>3</sup>	Ки	м <sup>3</sup>	Ки
Andrews Count	1 135	52 361	693	43 199	361	116 214	327	34 111
Barnwell	289	4 977	280	9 618	200	737	383	1 256
Clive	30 119	6 787	34 922	13 300	45 589	11 633	142 007	11 987
Richland	580	6 594	776	739	601	75 743	394	9 826
Всего*	32 122	70 719	36 672	66 857	45 751	204 326	143 110	57 179

\* Итоговое значение в кубометрах может не совпадать из-за округления



Рис. 3. Погрузка отходов при выводе из эксплуатации АЭС Maine Yankee [17]



Рис. 4. Захоронение крупногабаритных отходов на площадке Clive в шт. Юта (США) [19]

Основной источник поступления отходов класса А — вывод из эксплуатации. Например, при выводе из эксплуатации АЭС Main Yankee с реактором PWR мощностью 860 МВт образовано 107 тыс. м<sup>3</sup> РАО, из которых 91 тыс. м<sup>3</sup> — отходы класса А [17]. На рис. 3 показано транспортирование РАО с площадки Main Yankee, а на рис. 4 — захоронение крупногабаритных отходов на площадке Clive. Отметим, что в США разрешено транспортирование и захоронение крупногабаритных отходов единым компонентом без разделки. Так, корпус реактора АЭС Main Yankee был транспортирован на барже для захоронения на площадке Barnwell. Кроме того, правила регулирования разрешают «усреднение концентраций» при определении класса отходов, т. е. уравнивание удельной активности в расчете на вес или объем, что дает возможность отнести часть оборудования к классу А. Помимо расчетного усреднения допускается и физическое смешивание определенных отходов, называемое «блендированием»: отходы классов В и С могут смешиваться с отходами класса А для получения в итоге смеси отходов, удовлетворяющей критериям приемлемости коммерческого пункта захоронения для класса А [18].

Следует отметить, что в США захоронение РАО не является, как правило, единственным бизнесом компании-оператора. Так, площадка Andrews Count изначально осуществляла удаление опасных химических отходов и стала принимать РАО только с 2012 года. Компания EnergySolutions, являясь оператором Clive и Barnwell, предлагает услуги транспортирования, переработки и упаковки РАО, инженерные разработки для обращения с РАО на действующих объектах, а также является активным игроком на рынке вывода из эксплуатации, предлагая полный спектр услуг. Например, в мае 2019 г. компания планирует завершить начатый в 2009 году проект вывода из эксплуатации исследовательского реактора SEFOR в шт. Арканзас с достижением конечного состояния «зеленая лужайка» [20].

Опыт США показывает, таким образом, что при высокой стоимости захоронения и больших объемах РАО, обусловленных масштабами

деятельности по выводу из эксплуатации и реабилитации, использование категории отходов очень низкой активности дает существенный выигрыш как в ценовом отношении, так и в плане возможностей обращения с отходами (крупногабаритные РАО без разделки и упаковки, комбинирование отходов при приведении к критериям приемлемости и др.). Наличие мощностей захоронения и рынка услуг по обращению с РАО является важным фактором, позволяющим оператору установки осуществлять снятие с регулирующего контроля и прекращать соответствующие финансовые обязательства.

## Выводы

Захоронение ОНАО осуществляется во многих странах на протяжении нескольких десятилетий, и сегодня в мире почти 80% таких отходов направляются в пункты захоронения. Проблема обращения с ОНАО наиболее актуальна для деятельности по выводу из эксплуатации в связи с образованием больших объемов отходов. Мировые тренды связаны с учетом специфики таких отходов и включают:

- прием крупногабаритных ОНАО в действующие хранилища, в том числе без упаковки;
- планирование деятельности по обращению с РАО на этапе вывода из эксплуатации;
- развитие технологий обращения с отходами для снижения их объема;
- рассмотрение вариантов создания пунктов захоронения на площадках производителей отходов.

Создание пунктов захоронения ОНАО экономически целесообразно, поскольку затраты в 5–10 раз меньше, чем для приповерхностных пунктов захоронения НАО. В каких-то вариантах выигрыш может быть существенно больше, в каких-то меньше, однако экономия очевидна и фиксируется везде, где есть такая практика.

Подходы к обращению с ОНАО формируются в контексте развития национальных систем обращения с РАО, в том числе за счет комбинации подходов, нацеленных на повышение эффективности этой деятельности в целом. Таким

образом, обращение с ОНАО — это часть общей системы, решающая конкретные задачи. Выбор может быть как за счет использования возможностей освобождения от контроля при объединении захоронения с НАО, так и за счет строительства централизованных или приобъектных пунктов захоронения, включая совмещение на одной площадке пункта захоронения ОНАО и других типов отходов. Большое внимание уделяется планированию деятельности, в ходе которой образуются отходы (вывод из эксплуатации, реабилитация), поскольку большие объемы требуют мощностей по хранению и организации перемещения в пределах площадки, планирования транспортировки за пределы площадки и др.

В целом зарубежный опыт демонстрирует гибкость в построении систем захоронения, их адаптацию к меняющимся условиям и задачам, использование механизмов тонкой настройки, а также показывает ориентацию на поиск более эффективных в техническом и финансовом отношении подходов. Главный вывод из этого опыта для России состоит, на наш взгляд, в том, что строить систему захоронения следует с ее основания, т. е. с создания объектов, самых простых в техническом отношении и наиболее востребованных в плане будущих потоков РАО.

### Литература

1. IAEA safety standards series, no GSG-1. Classification of radioactive waste: safety guide. — Vienna, International Atomic Energy Agency, 2009.
2. Международный опыт по захоронению радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива. Обзор литературы. SKB International Consultant AB. Июнь 2009 г. — 162 с.
3. Технические и экономические преимущества введения категории ОНАО. SKB International AB. Ноябрь 2010 г. 22 с.
4. Рыбальченко И. Л. Обращение с отходами очень низкого уровня активности. Шведский опыт. СПб., 2009. 36 с.
5. Рыбальченко И. Л. Шведская система обращения с РАО и ОЯТ. — 2-е изд., испр. и доп. — СПб., 2008. 86 с.
6. Дорофеев А. А., Линге И. И., Самойлов А. А., Шарфутдинов Р. Б. К вопросу финансово-экономического обоснования повышения эффективности нормативной базы ЕГС РАО // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 22—31.
7. Абалкина И. Л., Линге И. И. Особенности обращения с РАО от вывода из эксплуатации // Радиоактивные отходы. 2018. № 3 (4). С. 6—15.
8. National Inventories and Management Strategies for Spent Nuclear Fuel and Radioactive Waste. Extended Methodology for the Common Presentation of Data. NEA № 7371. OECD, 2017. 67 p.
9. France. Sixth National Report on Compliance with the Joint Convention Obligations. October 2017. 244 p.
10. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.14. Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2018. 59 p.
11. Критерии классификации удаляемых радиоактивных отходов. — Утв. постановлением Правительства РФ от 19 октября 2012 г. № 1069.
12. Sweden's six national report under the Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management. Sweden's implementation of the obligations of the Joint Convention. Elanders Sverige AB, Stockholm 2017. 239 p.
13. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Развитие системы обращения с радиоактивными отходами в России Т. 2 / Под общ. ред. Большова Л. А., Лаверова Н. П., Линге И. И. Москва, 2013. URL: <http://www.fcp-radbez.ru/doc/tom2.pdf>.
14. Цебаковская Н. С., Уткин С. С. и др. Обзор зарубежных практик захоронения ОЯТ и РАО. Издательство «Комтехпринт», 2015. URL: <http://фцп-ярб2030.рф/upload/iblock/d5a/d5a48e55bcd4d5c8df15fe4a91d08723.pdf>.
15. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. Sixth Spanish National Report. October 2017. 213 p.
16. <https://www.nrc.gov/waste/llw-disposal/licensing/statistics.html>
17. Richard McGrath. Waste Management for Decommissioning of Nuclear Power Plants // Symposium on Recycling of Metals Arising from Operation and Decommissioning of Nuclear Facilities. Studsvik Facility, Nyköping, Sweden, April 8—10, 2014. URL: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/46/062/46062902.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/062/46062902.pdf).
18. United States of America. Six National Report for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel and on the Safety of Radioactive Waste Management. October 2017. 215 p.
19. URL: <http://www.energysolutions.com/clive-disposal-facility/>
20. URL: <http://www.world-nuclear-news.org/Articles/SEFOR-reactor-vessel-prepares-to-leave-site>.

### Информация об авторах

Абалкина Ирина Леонидовна, кандидат экономических наук, заведующий лабораторией, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: [abalkina@ibrae.ac.ru](mailto:abalkina@ibrae.ac.ru).

### Библиографическое описание статьи

Абалкина И. Л. Опыт захоронения ОНАО: перспективы для России // Радиоактивные отходы. — 2018. — № 4(5). — С. 15—23.

## VLLW DISPOSAL EXPERIENCE: PERSPECTIVES FOR RUSSIA

Abalkina I. L.

Nuclear Safety Institute of RAS, Moscow, Russian Federation

Article received 8 November 2018

*The paper considers the practice of very low-level radioactive waste disposal in several countries. The paper presents the features of the national classification systems for such waste and analyses the benefits of introducing this waste category. Differences in regulatory regimes for very low-level waste disposal facilities compared to other disposal facilities are examined.*

**Keywords:** radioactive waste disposal, very low level radioactive waste, radioactive waste management.

### References

1. IAEA safety standards series, no GSG-1. Classification of radioactive waste: safety guide. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2009.
2. International Experience on Disposal of Radioactive Waste and Spent Nuclear Fuel. A literature review. SKB International Consultant AB. June 2009. 162 p.
3. Technical and Economical Benefits of Introducing a VLLW Category. SKB International AB. November 2010. 22 p.
4. Rybalchenko I. L. *Management of very low level radioactive waste. Swedish experience.* Saint Petersburg, 2009. 36 p. (In Russian).
5. Rybalchenko I. L. *Swedish system of RW and SNF management. – 2 ed. revis. and extend.* S.Petersburg, 2008. 86 p. (In Russian).
6. Dorofeev A. N., Linge I. I., Samoylov A. A., Sharafutdinov R. B. Feasibility study on enhancing the efficiency of uss rw regulatory framework. *Radioactive Waste*, 2017, no. 1, pp. 22–31. (In Russian).
7. Abalkina I. L., Linge I. I. Peculiarities of Decommissioning Waste Management. *Radioactive Waste*, 2018, no. 3 (4), pp. 6–15. (In Russian).
8. National Inventories and Management Strategies for Spent Nuclear Fuel and Radioactive Waste. Extended Methodology for the Common Presentation of Data. NEA № 7371. OECD, 2017. 67 p.
9. France. Sixth National Report on Compliance with the Joint Convention Obligations. October 2017. 244 p.
10. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.14. Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2018. 59 p.
11. Kriterii klassifikatsii udalyaemykh radioaktivnykh otkhodov. Utv. postanovleniem Pravitel'stva RF ot 19 oktyabrya 2012 g. No. 1069.
12. Sweden's six national report under the Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management. Sweden's implementation of the obligations of the Joint Convention. Elanders Sverige AB, Stockholm 2017. 239 p.
13. *Problemy Yadernogo Naslediya i Puti Ikh Resheniya. Razvitie Systemy Obrasheniya s Radioaktivnymi Otkhodami v Rossii.* Vol. 2. Pod obshchei redaktsiej Bol'shova L. A., Laverova N. P., Linge I. I. Moscow, 2013. <http://www.fcp-radbez.ru/doc/tom2.pdf>
14. Tsebakovskaya N. S., Utkin S. S. i dr. *Obzor zarubejnykh praktik zakhoronniya OYT I RAO.* Moscow, "Komtechprint" Publ., 2015. Available at: <http://фцп-яр62030.pф/upload/iblock/d5a/d5a48e55bcd-4d5c8df15fe4a91d08723.pdf>
15. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. Sixth Spanish National Report. October 2017. 213 p.
16. Available at: <https://www.nrc.gov/waste/llw-disposal/licensing/statistics.html>
17. Richard McGrath. Waste Management for Decommissioning of Nuclear Power Plants. *Symposium on Recycling of Metals Arising from Operation and Decommissioning of Nuclear Facilities.* Studsvik Facility, Nyköping, Sweden, April 8-10, 2014. Available at: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/46/062/46062902.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/062/46062902.pdf)
18. United States of America. Six National Report for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel and on the Safety of Radioactive Waste Management. October 2017. – 215 p.
19. Available at: <http://www.energysolutions.com/clive-disposal-facility/>
20. Available at: <http://www.world-nuclear-news.org/Articles/SEFOR-reactor-vessel-prepares-to-leave-site>

### Information about the author

Abalkina Irina Leonidovna, PhD, Head of Laboratory, Nuclear Safety Institute RAS (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, 115191), e-mail: [abalkina@ibrae.ac.ru](mailto:abalkina@ibrae.ac.ru).

### Bibliographic description

Abalkina I. L. VLLW Disposal Experience: Perspectives for Russia. *Radioactive Waste*, 2018, no. 4 (5), pp. 15–23 (in Russian).