

# ОПТИМИЗАЦИЯ ОБРАЩЕНИЯ С ЗАГРЯЗНЕННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ И РАО В ПРЕДЕЛАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЛОЩАДОК

М. В. Ведерникова, А. Ю. Иванов, И. И. Линге, А. А. Самойлов

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 17 мая 2019 г.

*В статье рассмотрена проблематика оптимизации деятельности по обращению с загрязненными материалами и с низкоактивными короткоживущими радиоактивными отходами (РАО). Предложены варианты применения загрязненных материалов и низкоактивных короткоживущих РАО при проведении работ по ликвидации объектов ядерного наследия, среди которых – создание инженерных барьеров безопасности пунктов размещения особых РАО, в том числе при консервации водоемов-хранилищ жидких РАО, вывод из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов. В качестве одного из основных инструментов предложен возврат материалов в хозяйственную деятельность, направленный как на повышение экономической эффективности проводимых и планируемых работ по обеспечению безопасности объектов использования атомной энергии, так и на снижение затрат на захоронение накопленных и вновь образующихся РАО.*

**Ключевые слова:** оптимизация, низкоактивные короткоживущие радиоактивные отходы, радиоактивно загрязненные материалы, особые РАО, пункты захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО), вывод из эксплуатации (ВЭ), радиационная безопасность.

## Введение

Технологические цепочки обращения с радиоактивными отходами (РАО) изначально строились по поточному принципу: «от источника образования к хранилищу». В последующем, по мере развития технологий, в схемах обращения с РАО стали появляться установки, перерабатывающие отходы от нескольких «источников». Среди таких установок — комплексы сортировки, прессования, сжигания и т. д. Введение требований по захоронению РАО, приведенных в соответствие критериям приемлемости для захоронения, по-видимому, ускорит этот процесс, в том числе создаст предпосылки для организации переработки РАО в более крупных масштабах на специализированных предприятиях. К сожалению, пока схема «от источника

образования к хранилищу», не предусматривающая оптимизационных работ по приведению РАО в соответствие критериям приемлемости, как правило, проектируется и уже применяется и в отношении новых и несравнимо более мощных источников РАО, какими являются работы по выводу из эксплуатации (ВЭ). Результаты первичной регистрации РАО в части отнесения их к особым также вызывают сожаление. Вследствие несовершенства нормативной базы [1] или воли эксплуатирующей организации, решения в отношении отнесения многих пунктов хранения РАО к пунктам размещения или консервации особых РАО были отложены. В ряде случаев, были приняты еще более радикальные необоснованные решения по отнесению РАО к

удаляемым. Общей чертой этих обстоятельств является игнорирование существующего и перспективного режима эксплуатации промышленной площадки объекта использования атомной энергии (ОИАЭ), в рамках которого радиационная безопасность персонала и окружающей среды может быть полностью обеспечена решениями, не предусматривающими сбор и изоляцию всех радиоактивно загрязненных материалов. В настоящей статье рассмотрены возможности и перспективы более эффективной организации работ по обращению с РАО в пределах одной или нескольких промышленных площадок ОИАЭ.

Требование о повышении эффективности работ по обращению с РАО заложены в формулировках закона [2], наряду с экономически эффективной организацией работ по их захоронению. В настоящее время в области практических работ по реализации данных требований уже наблюдаются определенные перегибы, когда реализуемые меры радиационной защиты выходят за рамки разумно достаточных, зафиксированных на международном уровне в публикациях МКРЗ [3] и документах МАГАТЭ [4]. В работах [5, 6] проявления этих перегибов в общем виде уже анализировались. Это же характерно и для данных по низким активностям РАО, передаваемых на захоронение [7] и уже размещаемых в пунктах захоронения РАО (ПЗРО) [8]. В рамках данной статьи в качестве способа повышения эффективности мы, прежде всего, будем рассматривать сокращение объема и активности РАО, направляемых на захоронение в объекты национального оператора. Для реализации некоторых из перечисленных возможностей в ряде ситуаций потребуется корректировка отдельных положений нормативных документов. В этом случае нами приводятся основные доводы в обоснование такой корректировки. До их рассмотрения полезно обсудить общую концепцию по захоронению РАО в централизованных пунктах (объекты национального оператора).

Обоснование разумной достаточности в контексте вопросов безопасности обращения с РАО требует многокомпонентной аргументации. В особой мере это относится к наиболее опасной части отходов, а именно долгоживущим РАО высокой активности. Многие страны ориентировались на прямое захоронение отработавшего ядерного топлива, считая, что этого достаточно для обеспечения безопасности, в то время как ряд стран реализует стратегию переработки ОЯТ. В преамбуле Объединенной конвенции [9] четко зафиксировано (Преамбула, раздел vii), что решающим фактором в стратегии захоронения РАО является признание ОЯТ ценным

ресурсом, который может быть переработан. В случае признания ОЯТ ценным ресурсом также могут быть реализованы разнообразные варианты стратегий, в том числе с различными видами переработок, топливных и реакторных технологий, технологий РЕМИКС топлива [10] и др. При этом в подавляющем большинстве случаев во главу угла ставится экономическая эффективность, для чего разрабатываются и применяются мощные инструменты [11]. И только в отдельных случаях, когда упор делается на выжигании минорных актиноидов, технологический выбор обосновывается безопасностью захоронения [12]. В целом можно утверждать, что в вопросах обоснования топливных циклов и ядерных технологий задачи радиационной безопасности, особенно на их заключительных стадиях (ВЭ и захоронение РАО), играли и играют очень ограниченную роль [13].

Собственно, это же утверждает и ключевой документ в сфере радиационной защиты человека [3]. Соответствующая цитата из Публикации 103 МКРЗ: *«Комиссия рекомендует, чтобы при рассмотрении деятельности, сопровождающейся увеличением или снижением уровней облучения или риска потенциального облучения, ожидаемое изменение радиационного вреда, безусловно, учитывалось в процессе принятия решения. Рассматриваемые при этом последствия такой деятельности связаны не только с излучением — они включают в себя прочие риски, затраты и пользу такой деятельности. Иногда оказывается, что радиационный вред будет лишь малой частью суммарного ущерба. Таким образом, обоснование далеко выходит за рамки радиационной защиты. По этим причинам МКРЗ может только рекомендовать, чтобы в процессе обоснования чистая польза была положительной. Поиск возможной наилучшей альтернативы лежит за пределами ответственности органов, занимающихся обеспечением радиационной защиты».*

По мере сдвига внимания в область менее опасных РАО (низкоактивных, короткоживущих), все более возрастающую роль при выборе варианта обращения с ними должны играть принципы радиационной защиты, а именно обоснование и оптимизация. По сути, речь идет о сокращении количества барьеров безопасности для изоляции отходов и одновременном повышении качества обоснования безопасности. Практический опыт таких зарубежных стран, как Франция, Швеция и многих других подтверждает положительный результат такого подхода [14].

Предваряя возможную критику предлагаемых подходов, констатируем, что обоснованное

применение радиоактивно загрязненных материалов на территории промышленной площадки — это признак разумности, рациональности и культуры. И наоборот, отправка дорогой упаковки с мизерной активностью в рассчитанный на столетия пункт захоронения — это признак

бесхозяйственности, который может быть сопроvoжден более жесткими формулировками. В качестве иллюстрации приведем сравнение основных условий захоронения конкретных упаковок аналогичных РАО у нас и за рубежом (табл. 1).

Таблица 1. Основные параметры захоронения РАО низких активностей

Характеристики	Швеция	Франция	Россия
Сооружение для захоронения	курганного типа на площадке АЭС	централизованный траншейного типа	капитальное сооружение
Тип упаковки	компактированные пластиковые мешки, бочки, транспортные грузовые контейнеры	пластиковые мешки, бочки, крупное оборудование и др.	НЗК-РАДОН, КМЗ, КРАД 3,0, КРАД 1,36
Стоимость условной упаковки, тыс. руб./м <sup>3</sup>	0,5	0,5*	более 50 <sup>^</sup>
Стоимость захоронения, тыс. руб./м <sup>3</sup>	15–40	15	55 (класс 4)
Мощность дозы на поверхности упаковки, мЗв/ч	менее 0,5	–	0,1
Максимальная удельная активность в упаковке <sup>+</sup> , Бк/г	α	< 10 <sup>2</sup>	< 0,1 % от общей активности
	β		< 3·10 <sup>2</sup> (радионуклидов с периодом полураспада более 5 лет)
Средняя удельная активность в упаковке <sup>+</sup> , Бк/г	α	от 6,8 до 49,5 [14]	~ 15*
	β		2,5·10 <sup>2</sup> *

Примечания:

\*В России стоимость упаковки «биг-бэг» не превышает 0,5 тыс. руб./шт. с НДС

<sup>^</sup>Стоимость контейнера от 72 тыс. руб./шт. (полезный объем КРАД 1,36 – 1,4 м<sup>3</sup> РАО, объем упаковки 1,6 м<sup>3</sup>) + 55 тыс. руб./м<sup>3</sup> (тариф за захоронение 4 класса)

<sup>+</sup>Оценка по данным фактического захоронения

\*Среднее значение для РАО удаленных из объектов Грозненского филиала ФГУП «РосРАО»

\*Данные ФГУП «Атомфлот»

Стоит отметить, что минимизация объема захоронения РАО может достигаться посредством применения различных подходов. Например, для накопленных низкоактивных короткоживущих РАО крайне перспективной может оказаться предварительная сортировка перед переработкой. Это обусловлено достаточно длительными временами хранения и недостаточным вниманием, уделяемым процедуре отнесения отходов к радиоактивным в период их образования, при отсутствии финансового стимула к минимизации объема отходов.

В рамках данной статьи будем рассматривать подход, направленный на возврат загрязненных материалов в хозяйственную деятельность. Утверждаем, что подобные возможности также крайне широки. Так, слабозагрязненные демонтированные строительные конструкции могут быть использованы при сооружении дренарующих слоев или в качестве вторичного щебня при производстве бетона в рамках сооружения новых объектов атомной промышленности. Также радиоактивно загрязненные материалы могут использоваться при сооружении дорог в различных условиях (в пределах населенных пунктов и

за их пределами в зависимости от их удельной активности [15]).

Более подробно остановимся на иных вариантах: использовании загрязненных материалов в рамках работ по ВЭ ОИАЭ. При этом рассмотрение возможностей оптимизации проведем для трех типов объектов их предлагаемого применения (поверхностные водоемы-хранилища жидких РАО (ЖРО), приповерхностные хранилища твердых РАО (ПХРО), включая приповерхностные ПЗРО, и объекты ВЭ), рассматривая применение в качестве исходных материалов как радиоактивно загрязненных, так и уже отнесенных к радиоактивным, упакованных отходов.

### Приповерхностные водоемы-хранилища ЖРО

Всего в Российской Федерации имелось 17 таких объектов (предприятия ФГУП «ПО «Маяк», АО «СХК», ФГУП «ГХК»), в которых содержалось около 420 млн м<sup>3</sup> отходов (табл. 2). По двум из них приняты решения и начаты работы по удалению РАО (объекты ФГУП «ГХК», объемом около 29 тыс. м<sup>3</sup>), по семи уже проведено или начато

Таблица 2. Основные характеристики приповерхностных водоемов-хранилищ ЖРО [17]

	ФГУП «ПО «Маяк»	ТКВ	АО «Сибирский химический комбинат»				ФЯО ФГУП «ГХК»
Характеристика	В-17	В-3,4	Б-1	Б-25	ПХ- 1,2	ВХ-3, 4	354а
Год создания	1949	1952	1961	1962	1961	1958	1966
Площадь, км <sup>2</sup>	0,13	2,05	0,08	0,01	0,056	2,71	0,066
Объем, млн. м <sup>3</sup>	0,27	4,96	0,08	0,0043	0,174	3,63	0,76
Основные радионуклиды, определяющие накопленную активность	<sup>137</sup> Cs, <sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs, <sup>90</sup> Sr, <sup>239</sup> Pu	<sup>137</sup> Cs, <sup>90</sup> Sr, <sup>239</sup> Pu	<sup>239</sup> Pu, <sup>241</sup> Am	<sup>137</sup> Cs, <sup>90</sup> Sr	<sup>238</sup> U, <sup>235</sup> U, <sup>137</sup> Cs, <sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs

закрытие акватории (Б-2, Б-1, Б-25, пульпохранилище АО «СХК», В-9, В-17 ФГУП «ПО «Маяк», 354 ФГУП «ГХК»). В дальнейшем планируется закрытие акватории и водоемов В-3, В-4 ФГУП «ПО «Маяк», 354а ФГУП «ГХК» и др. Отметим, что согласно Стратегическому мастер-плану ТКВ [16] акватория наиболее крупных водоемов (В-10, В-11) не будет перекрываться.

Данные таблицы 2 показывают, что во всех случаях консервации, предполагающих закрытие акватории водоема, речь идет о перемещении больших (В-17, ПХ-1 и ПХ-2 и др.) и очень больших объемов (В-3, В-4) материалов, требуемых для создания покрывающих экранов.

Первым промышленным водоемом, в отношении которого начала решаться задача закрытия акватории, был водоем В-9. В силу многих причин, рассмотренных в работе [18], для закрытия были применены специальные полые блоки ПБ-1 и скальные грунты. В 2005 году было получено разрешение на использование для закрытия специальных упаковочных комплектов типа ВТ, ЖТ. Начиная с 1993 года над частью закрытой бывшей акватории водоема В-9, были сооружены 4 очереди полигона для размещения твердых очень низкоактивных и низкоактивных РАО (даты эксплуатации очередей: 1-я – 1993–1996 гг., 2-я – 1997–2009 гг., 3-я – 2009–2013 гг.). Отходы размещались навалом в первичной упаковке. После закрытия очереди перекрывались защитным слоем грунта (каменистым и сулинистым) толщиной от 0,5 до 1 м на первом этапе закрытия и слоем толщиной 1 м – на втором, с прослойкой из щебня толщиной от 0,2 до 0,3 м. Данный способ консервации водоема был выбран исходя в том числе из необходимости создания покрывающего барьера безопасности, с учетом принципа оптимизации при размещении вновь образующихся твердых РАО. Кроме этого, были выполнены предварительные обоснования безопасности окончательного захоронения твердых РАО в полигоне, в том числе расчеты миграции основных радионуклидов, которые показали, что эксплуатация

полигона в настоящее время и в дальнейшем не окажет существенного влияния на открытую гидрографическую сеть [19].

Общая практика, применявшаяся на остальных водоемах (Б-2, Б-1, Б-25, объект 354), предусматривала в основном использование чистых материалов. Применение загрязненных, но обладающих потенциалом стабилизирующего воздействия на накопленные отходы материалов или материалов, не оказывающих значимого негативного воздействия, детально не исследовалась, хотя и идеи, и намерения в ряде организаций рассматривались.

О неприемлемости сложившегося положения, при котором прямо не прописаны и не используются возможности размещения дополнительных объемов РАО и иных загрязненных материалов как в рамках эксплуатации, так и консервации пунктов размещения особых РАО, было указано в работе [20]. В настоящее время ситуация улучшилась благодаря выходу НП-103-17 [21]. Согласно этому документу в пункты размещения особых РАО допускается размещение РАО, образовавшихся при:

- эксплуатации или ВЭ ОИАЭ, на котором образовались РАО, накопленные в пункте размещения особых РАО;
- эксплуатации самого пункта размещения особых РАО;
- выполнении работ по реализации проекта перевода в пункт консервации особых РАО;
- при проведении реабилитации площадки пункта размещения особых РАО.

Тем не менее существенные ограничения остались. В этом же разделе нормативного документа указывается, что размещение иных РАО в пункт размещения особых РАО запрещается. Но, надо полагать, что понятие РАО в данном разделе НП-103-17 используется в строгом значении, то есть как материалы, не подлежащие дальнейшему использованию, то есть полностью лишённые каких-либо полезных свойств.

Общий порядок реализации дополнительного размещения РАО в пункты размещения особых

РАО также определен НП-103-17. Его ключевые признаки, которые должны быть отражены в отчете по обоснованию безопасности: анализ и учет морфологического, химического и радионуклидного состава, количества и активности дополнительно размещаемых РАО; допустимая суммарная и удельная активность и т. д. В отношении водоема В-17 перспективы применения радиоактивных материалов различного типа и морфологического состава (металлические отходы, строительные материалы, измельченная растительность, загрязненная почва) рассмотрены в работе [22]. В ней, в частности, рассмотрены влияние загрязненных материалов на общий уровень активности водоема В-17, экономическая целесообразность применения загрязненных материалов, вопросы обеспечения радиационной защиты персонала при проведении работ, а также оценено влияние использования загрязненных материалов при его консервации на долговременную безопасность объекта.

Нельзя сказать, что тема оптимизации полностью забыта. Специалистами АО «СХК» также обсуждаются аналогичные подходы к закрытию ПХ-1 и ПХ-2. Но в целом подобный опыт может быть расширен и на иные, в том числе нерадиоактивные материалы, в частности отходы горно-металлургических предприятий.

Сложнее, с точки зрения имеющейся практики, применение материалов, которые ранее уже были отнесены к РАО. Напомним, что в предшествующие годы материалы относились к РАО исходя из совершенно иных посылов, без рассмотрения возможности их повторного использования или возможности извлечения полезных компонент, зачастую без должной сортировки. Вопрос экономической целесообразности «доизвлечения» полезных материалов (урана, металлов и др.) из отходов с применением новых технологий поднимался и для старого хвостохранилища АО «ЧМЗ», хвостохранилищ ПАО «ППГХО» и других объектов. Кроме этого, в ряде случаев, как уже показано выше, образующиеся РАО используются и для консервации объектов наследия (хвостохранилище № 1 АО «ЧМЗ» [23] и др.).

С другой стороны, сегодня при осуществлении записи в учетные документы Системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ (РВ) и РАО (СГУК РВ и РАО) предусмотрены операции, которые по смыслу совпадают с переводом РАО в РВ. Например, в [24] введены следующие коды операций: «15» — для отражения информации об образующихся РВ при переработке РАО в виде ОЗРИ, «49» — для снятия с учета РАО при операциях сортировки (с последующей постановкой на учет новых РАО) и др.

Кроме этого, предусмотрено и указание кода «98» для снятия с учета РАО «по другим причинам». Таким образом, в рамках отчетности СГУК РВ и РАО есть возможность пересмотреть решение об отнесении отходов к РАО. Отсутствие требований к процедуре перевода РАО в РВ в нормативных документах, в том числе в федеральных нормах и правилах, связано, очевидно, с отсутствием таких прецедентов до сегодняшнего дня и является лишь вопросом времени.

### Приповерхностные ПХРО и ПЗРО

Для ряда крупных объектов, которые не были отнесены к пунктам размещения особых РАО, необходимо повторно вернуться к рассмотрению данного вопроса. Причина такого утверждения кроется в том, что решения в рамках первичной регистрации РАО принимались эксплуатирующими организациями и комиссиями без должной оценки следующих факторов: реальной возможности финансирования работ по удалению РАО, характеристик отходов, сравнения доз и радиационных рисков для персонала и населения для различных вариантов обращения с отходами. И это было простительно на этапе первичного сбора данных. Более того, для отнесения РАО к удаляемым рассматривались, в большинстве случаев, исключительно критерии «не оборонного» происхождения отходов и «неудачного» местоположения объектов [25]. Сегодня, когда данные полностью сведены и начаты работы по удалению РАО [7], очевидно, что удаление всех накопленных удаляемых РАО будет длительным и дорогим процессом.

Даже среди крупных ПХРО, отходы в которых отнесены к удаляемым РАО, присутствуют объекты, содержащие в основном короткоживущие радионуклиды (табл. 3).

Среди перечисленных в таблице 3 объектов, два размещены на территории Нововоронежской АЭС. Отметим, что период потенциальной опасности более 70% РАО, накопленных на площадке Нововоронежской АЭС, — менее 150 лет. Стоимость захоронения такого объема РАО, включая стоимость упаковки, может превысить 2 млрд рублей. В отношении объектов АО «ОДЦ УГР» очевидно, что РАО будут сняты с учета СГУК РВ и РАО до начала работ по их извлечению. Отметим, что приведенные выкладки основаны на данных, представленных организациями в СГУК РВ и РАО, и при разработке детальной стратегии обращения с накопленными РАО и ВЭ ПХРО следует учитывать вопросы определения расширенного радионуклидного состава отходов [20, 26].

Таблица 3. Пример наиболее крупных пунктов хранения удаляемых РАО

Краткое наименование организации	Наименование пункта хранения/хранилища радиоактивных отходов	Основной радионуклид	Период потенциальной опасности, лет	Объем, тыс. м <sup>3</sup>
Нововоронежская АЭС	ХТРО № 6	цезий-137	менее 150	9,97
Нововоронежская АЭС	ХТРО № 7	цезий-137	менее 30 лет	10,0
ОАО «ОДЦ УГР»	хранилище траншейного типа № 3 пл. 11	цезий-137, кобальт-60	менее 20	10,0
ОАО «ОДЦ УГР»	хранилище траншейного типа № 4 пл. 11	цезий-137, кобальт-60	менее 20	9,93

Вопросы дальнейшей судьбы РАО, размещенных в пунктах их долговременного хранения, рассматривались уже неоднократно. Решения по отнесению их к удаляемым в рамках первичной регистрации РАО откладывались как исходя из очевидных проигрышей в безопасности и затратах, так и ввиду отсутствия подготовленных обоснований.

По ряду объектов (например, законсервированное в рамках ФЦП ЯРБ хвостохранилище ГМЗ — объем более 10,6 млн м<sup>3</sup> РАО) рациональные решения по отнесению РАО к особым практически не вызывают вопроса [1]. Например, захоронение РАО АО «МСЗ» (объем более 410 тыс. м<sup>3</sup>) на месте позволит снизить дозозатраты более чем на 25 чел.-Зв и сэкономить более 90 млрд руб. В настоящее время уже есть прогресс в части пересмотра отложенных решений (объекты Кирово-Чепецкого отделения ФГУП «РосРАО»).

Отдельного детального рассмотрения требуют объекты, для которых обоснования отнесения РАО к особым не были подготовлены в рамках первичной регистрации РАО (объекты ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», АО «ГНЦ НИИАР», АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», филиал АО «НИФХИ им. Л. Я. Карпова» и др.). Отметим, что в актах первичной регистрации РАО были установлены даты пересмотра отложенных решений. Предполагается, что к этим датам эксплуатирующими организациями будут подготовлены материалы, содержащие

обоснования возможности локализации РАО на месте, оценки доз, радиационных рисков и затраты для вариантов удаления РАО и захоронения на месте. Отметим, что отсрочка принятия решения для ряда объектов, таких как пункты хранения ФГУП «РАДОН» (43 объекта, объем РАО более 132 тыс. м<sup>3</sup>) и Билибинской АЭС (4 объекта, объем РАО более 4 тыс. м<sup>3</sup>), позволяет провести оценку не только доз, рисков, затрат и долгосрочной безопасности, но и принять во внимание другие аспекты.

Применение загрязненных материалов и РАО в случае консервации пунктов размещения особых РАО регламентируется теми же подходами, что и для водоемов-хранилищ ЖРО. Принципиальное отличие — дополнительные материалы, как правило, не могут быть размещены в самом объеме. Однако слабозагрязненные материалы, в сравнении с основными РАО, размещенными в могильнике, вполне могут быть применены, особенно в тех случаях, когда они позволят сформировать дополнительные барьеры безопасности с новыми функциями. Например, поверх грунтового могильника может быть сооружен барьер безопасности от вмешательства из контейнеров с низкоактивными короткоживущими РАО (или с отходами, загрязненными радионуклидами, но не попадающими под критерии отнесения к РАО) (рис. 1). Таких упаковок, по-видимому, в прошлом было сформировано достаточно много [8]. В качестве кандидатов на

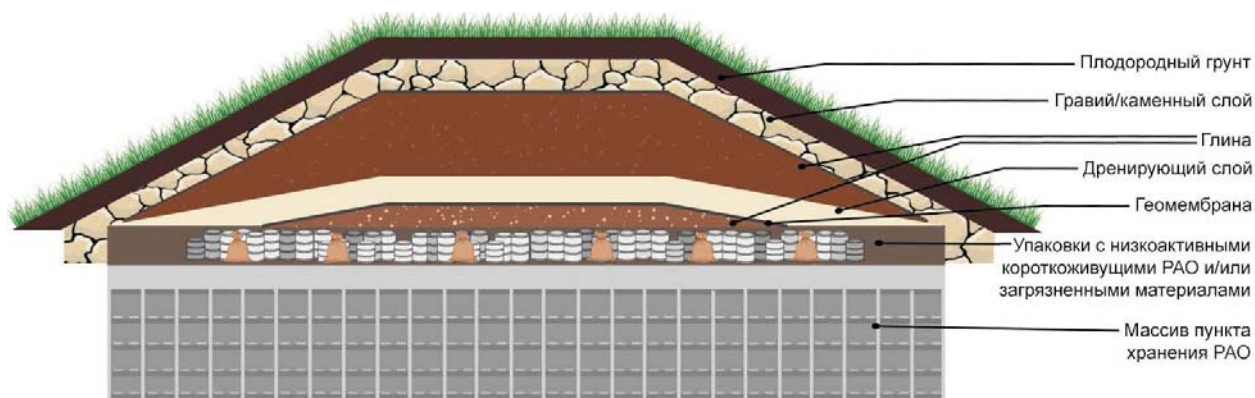


Рис. 1. Технология консервации пункта хранения твердых РАО траншейного типа

такие объекты в первую очередь необходимо отметить комплекс грунтовых могильников завода 235 ФГУП «ПО Маяк».

Могильники представляют собой искусственные траншеи и котлованы, либо выработки, из которых в период строительства предприятия брали грунт. Глубина траншей и котлованов составляет от 0,5 до 8 м. Могильники отсыпаны каменистым и суглинистым грунтом (высотой до 2 м), но на некоторых из них наблюдается обнажение отходов и металлолома из-под отсыпки, провалы поверхности, на большинстве могильников произошло зарастание древесно-кустарниковой растительностью. В комплексе могильников размещено около 230 тыс. м<sup>3</sup> ТРО с суммарной  $\alpha$ -активностью  $1,7 \cdot 10^{12}$  Бк и  $\beta$ -активностью  $2,4 \cdot 10^{13}$  Бк [17]. Твердые РАО размещались в могильниках навалом, без упаковки. Основную их номенклатуру составляют изделия из нержавеющей стали, цветных и черных металлов, в том числе крупногабаритное оборудование, лабораторная посуда, пластикат, спецодежда, обтирочный материал и строительный мусор. Категория отходов в могильниках по уровню удельной активности соответствует категориям очень низкоактивных, низкоактивных и среднеактивных РАО.

Сегодняшняя обстановка на территории комплекса могильников может быть охарактеризована как сложная с перспективой естественного улучшения через 50–100 лет. Очевидно, что необходимы работы по консервации комплекса могильников, в ходе которых целесообразно создание покрывающего барьера безопасности из твердых материалов, выполненного, например, из ряда контейнеров типа НЗК, содержащих короткоживущие РАО низкой активности, или загрязненных бетонных перекрытий от демонтажа зданий и сооружений. Этот слой обеспечит: защиту от вмешательства и биопомех [27], упростит контроль состояния могильника и т. д.

Суммарная площадь комплекса могильников составляет 80 тыс. м<sup>2</sup>. С учетом эпизодического подтопления части объектов и необходимости их уплотнения она может сократиться вдвое. Но даже в этом случае потенциальная емкость подобного мероприятия может быть оценена в 15 тыс. контейнеров типа НЗК. Допустимая добавленная активность короткоживущих РАО для данного могильника может быть ограничена величиной в 0,1 % от  $\beta$ -активности накопленных РАО. Это примерно  $2,4 \cdot 10^{10}$  Бк, что дает величину  $2 \cdot 10^7$  Бк на контейнер. По данным работы [8], доля таких упаковок может достигать 50 % от размещаемых в приповерхностных ПЗРО.

Подобного количества уже накопленных и размещенных в контейнерах «слабых» РАО может не оказаться. Но в этом случае могут быть применены различного рода железобетонные перекрытия от ВЭ ОИАЭ и др.

Для приповерхностных ПЗРО с наземными конструкциями (объекты захоронения РАО выше уровня естественной земной поверхности, например специализированные здания и др.) с помощью таких упаковок может быть сформирована буферная зона, которая повысит устойчивость сооружения, при обваловке здания грунтом после завершения размещения РАО, что является типовым инженерным решением в отношении таких объектов и в России, и в мире (рис. 2). Это сократит расход чистых материалов и исключит необходимость размещения упаковок РАО с чрезвычайно низкими активностями или загрязненных материалов в приповерхностные ПЗРО или иные объекты.

### Объекты вывода из эксплуатации

В отношении ВЭ по варианту захоронения на месте в полном объеме справедливы все описанные ранее предложения и подходы. В рамках первого в России проекта преобразования промышленного реактора ЭИ-2 в пункт

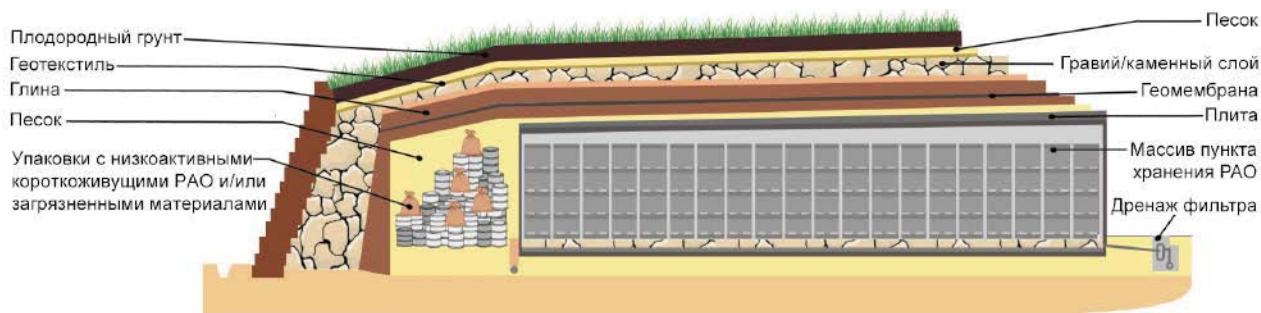


Рис. 2. Предложение по применению упаковок с низкоактивными короткоживущими РАО или загрязненными материалами при закрытии ПЗРО

консервации особых РАО, они были частично реализованы в отношении графитовой кладки и отдельных металлоконструкций реактора [28]. Но многие компоненты потенциала оптимизации остались нереализованными. К ним следует отнести: отсутствие необходимости удаления части металлических конструкций, возможность использования упаковок с РАО, образовавшихся при ВЭ, для создания слоя верхнего покрывающего экрана, важного для предотвращения вторжения в отдаленном будущем, оптимизацию систем мониторинга и др.

Вопросы применения наилучших технологий обращения с РАО при ВЭ по варианту ликвидации детально рассмотрены в работах [5, 6]. В качестве дополнительных возможностей, которые могут быть использованы в рамках оптимизации, отметим обратную засыпку котлованов, остающихся после демонтажа подземной части выводимых из эксплуатации зданий и сооружений. В этих случаях также приемлемым представляется использование загрязненных материалов, удельная активность которых достигнет значений уровней освобождения в диапазоне 30–50 лет.

## Заключение

Рассмотренные подходы к организации обращения с загрязненными материалами и РАО в пределах одной промышленной площадки преследуют цель существенно сократить расходы с сохранением или даже повышением уровня безопасности. Во всех случаях предлагаемые меры потребуют усилий и затрат, в том числе на обоснование безопасности. В ряде случаев для этого понадобятся дополнительные исследования совместимости материалов и веществ. Но эти дополнительные затраты многократно окупятся. В целом справедливо правило — чем более тщательно выполнено обоснование безопасности и чем больше будет проведено независимых экспертиз, в том числе для получения лицензии на проведение работ, тем эти работы будут более эффективными.

Положительные эффекты могут быть еще выше в случае проведения более широкой оптимизации работ, включая рассмотрение возможности перемещения материалов между площадками различных предприятий.

Предлагаемые решения по использованию упаковок с РАО низкой активности позволят многократно ускорить вывоз накопленных РАО с промышленных площадок и освободить систему пунктов захоронения РАО классов 3 и 4 от необходимости размещения в них упаковок

с очень низкоактивными короткоживущими отходами.

Предлагаемые решения могут быть настороженно восприняты как проявления упрощенного подхода к обеспечению безопасности. Однако авторы считают и будут настаивать на обратном, поскольку в настоящий момент предлагаются действительно более сложные в планировании и обосновании безопасности решения, особенно при увеличении срока планирования деятельности по обращению с РАО от принятых 20 лет до 50 и более. Одновременно они в полной мере соответствуют базовым принципам радиационной защиты. Для их реализации необходимо перейти от объектного планирования и организации работ к комплексному, учитывающему развитие всей промышленной площадки и отрасли в целом. Это означает, что работы по ВЭ должны планироваться и организовываться в условиях строгого согласования с программой по созданию системы окончательной изоляции РАО (не ограничиваясь формальными ссылками на обязанность национального оператора принимать РАО, приведенные в соответствии критериям приемлемости), полной прозрачности относительно проектов по обращению со слабозагрязненными материалами.

## Литература

1. Линге И. И., Ведерникова М. В., Савкин М. Н., Самойлов А. А. Перспективы обращения с особыми радиоактивными отходами // Атомная энергия. 2017. Т. 122. № 6. С. 321–324.
2. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. ICRP, 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Users Edition). ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4).
4. Safety Standards for protecting people and environment. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements. Part 3. Vienna, 2014.
5. Абалкина И. Л., Линге И. И., Панченко С. В. К вопросу образования и обращения с РАО при реабилитации загрязненных территорий // Радиоактивные отходы. 2018. № 1 (2). С. 7–14.
6. Абалкина И. Л., Линге И. И. Особенности обращения с РАО от вывода из эксплуатации // Радиоактивные отходы. 2018. № 3 (4). С. 6–15.
7. Абрамов А. А., Дорофеев А. Н. Современное состояние и перспективы развития системы обращения с РАО в Российской Федерации // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 10–21.



8. *Пронь И. А., Коновалов В. Ю.* Опыт эксплуатации приповерхностного пункта захоронения радиоактивных отходов 3 и 4 классов // Радиоактивные отходы. 2018. № 4 (5). С. 8—14.
9. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами (Вена, 5 сентября 1997 г.). Подписана от имени Российской Федерации 27 января 1999 г. (распоряжение Президента РФ от 28 декабря 1998 г. N 469-рп и постановление Правительства РФ от 30 апреля 2005 г. № 276).
10. *Игнатъев В. В., Кормилицын М. В., Кормилицына Л. А., Семченков Ю. М., Федоров Ю. С., Фейнберг О. С., Крюков О. В., Хаперская А. В.* Жидкосолевой реактор для замыкания ядерного топливного цикла по всем актиноидам // Атомная энергия. 2018. Том. 125. № 5. С. 251—255.
11. *Van Den Durpel L.* On the value of recycling fuel cycles in competitive and uncertain energy markets. *Atomespo*. 2018. Sochi.
12. *Иванов В. К., Чекин С. Ю., Меняйло А. Н., Максютов М. А., Туманов К. А., Кащеева П. В., Ловачёв С. С., Адамов Е. О., Лопаткин А. В.* Уровни радиологической защиты населения при реализации принципа радиационной эквивалентности: риск-ориентированный подход // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). 2018. Е. 27. № 3. С. 9—23.
13. *Большов Л. А., Арутюнян Р. В., Линге И. И., Воробьева Л. М., Казаков С. В., Павловский О. А., Кобринский М. Н., Осипьянц И. А.* Ядерные технологии и экологические проблемы в России в XXI веке // Бюллетень по атомной энергии. 2003. № 5. С. 15—19.
14. *Абалкина И. Л.* Опыт захоронения ОНАО: перспективы для России // Радиоактивные отходы. 2018. № 4 (5). С. 15—23.
15. СанПиН 2.6.1.2800-10. Требования радиационной безопасности при облучении населения природными источниками ионизирующего излучения.
16. Стратегический мастер-план решения проблем Теченского каскада водоемов ФГУП «ПО «Маяк» / ИБРАЭ РАН и др. — Утвержден ген. директором Госкорпорации «Росатом» от 15.02.2016.
17. Особые радиоактивные отходы / Под общ. ред. И. И. Линге — М.: ООО «САМ полиграфист», 2015. 240 с.
18. *Мокров Ю. Г., Алексахин А. И.* Мониторинг — основа обеспечения безопасности при выполнении работ по консервации водоема Карачай // Радиоактивные отходы. 2018. № 3 (4). С. 60—68.
19. Обосновывающие материалы «Отнесение радиоактивных отходов, размещенных в полигоне ПЗ ТРО В-9, к особым радиоактивным отходам» / Утв. ген. директором ФГУП «ПО «Маяк». Озерск 2014, ФГУП «ПО «Маяк». 45 с.
20. *Дорофеев А. Н., 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.
21. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Требования к обеспечению безопасности пунктов размещения особых радиоактивных отходов и пунктов консервации особых радиоактивных отходов (НП-103-17)» / Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 октября 2017 г. № 418.
22. *Самойлов А. А., Болдырев К. А., Мокров Ю. Г.* Подходы к оптимизации консервации водоемаохранилища В-17 // Вопросы радиационной безопасности. 2019. № 1 (93) (в печати).
23. Обоснование для принятия решения об отнесении радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам (объект — консервируемое хвостохранилище № 1 ОАО «ЧМЗ») / Утв. ген. директором ОАО «ЧМЗ» от 03.07.2014. Глазов, 2014. 48 с.
24. Приказ Госкорпорации «Росатом» от 28.09.2016 г. № 1/24-НПА «Об утверждении форм отчетов в области государственного учета и контроля радиоактивных веществ, радиоактивных отходов и ядерных материалов, не подлежащих учету в системе государственного учета и контроля ядерных материалов, активность которых больше или равна минимально значимой активности или удельная активность которых больше или равна минимально значимой удельной активности, установленной федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии, порядка и сроков предоставления отчетов».
25. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».
26. *Александрова Т. А., Блохин П. А., Самойлов А. А., Курындин А. В.* Анализ данных по радионуклидному составу РАО в контексте оценки долговременной безопасности их захоронения // Радиоактивные отходы. 2018. № 2 (3). С. 44—51.
27. *Савкин М. Н., Ведерникова М. В., Панченко С. В.* Взаимное влияние объектов живой природы и пунктов захоронения радиоактивных отходов: экологическая и техническая безопасность // Радиоактивные отходы. 2018. № 3 (4). С. 30—38.

28. Павлюк А. О., Котляревский С. Г., Марков С. А., Шатров М. В. Организация и результаты мониторинга пункта хранения радиоактивных отходов, созданного при выводе из эксплуатации промышленного уран-графитового реактора ЭИ-2 // Радиоактивные отходы. 2018. № 3(4). С. 69–77.

---

### Информация об авторах

*Ведерникова Марина Владимировна*, кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: vmv@ibrae.ac.ru.

*Иванов Артем Юрьевич*, и. о. зав. отделением, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: aivanov@ibrae.ac.ru

*Линге Игорь Иннокентьевич*, доктор технических наук, заместитель директора, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: linge@ibrae.ac.ru

*Самойлов Андрей Анатольевич*, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: samoylov@ibrae.ac.ru

### Библиографическое описание данной статьи

*Ведерникова М. В., Иванов А. Ю., Линге И. И., Самойлов А. А.* Оптимизация обращения с загрязненными материалами и РАО в пределах промышленных площадок // Радиоактивные отходы. 2019. № 2 (7). С. 6–17. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-6-17

---

## OPTIMIZATION THE CONTAMINATED MATERIALS AND RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT WITHIN INDUSTRIAL SITES

**Vedernikova M. V., Ivanov A. Yu., Linge I. I., Samoylov A. A.**

**Nuclear Safety Institute of the Russia Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation**

Article received 17 May 2019

*The paper discusses the ways of optimization the contaminated materials and low-level short-lived radioactive waste (LL-SL RW) management. Different options are considered for reuse of contaminated materials and LL-SL RW in the projects for remediation of nuclear legacy sites, including conservation of liquid RW storage facilities, construction of engineered safety barriers for non-retrievable RW disposal facilities, and decommissioning of nuclear- and radiation-hazardous facilities. Special attention is given to maintaining the level of safety of contaminated materials and waste management options while reducing the costs associated with such management.*

**Keywords:** *optimization, low-level short-lived radioactive waste, contaminated materials, non-retrievable radioactive waste, disposal of radioactive waste, decommissioning, radiation safety.*

### References

1. Linge I. I., Vedernikova M. V., Savkin M. N., Samoilov A. A. Perspektivy obrashcheniya s osobymi radioaktivnymi othodami [Special Radwaste Management Prospects]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2017, vol. 122, no 6, pp. 396–399.
2. Federal'nyj zakon ot 11 iyulya 2011 g. No 190-FZ «Ob obrashchenii s radioaktivnymi othodami i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii» [Federal Law of 11 July 2011 No. 190-FZ “On the management of radioactive

waste and amending separate legal acts of the Russian Federation”].

3. ICRP, 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Users Edition). ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4).

4. Safety Standards for protecting people and environment. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements. Part 3. Vienna, 2014.

5. Abalkina I. L., Linge I. I., Panchenko S. V. K voprosu obrazovaniya i obrashcheniya s RAO pri reabilitacii zagryaznennykh territorij [On the Issue of Generation and Management of Radioactive Waste from Remediation of Contaminated Territories]. *Radioaktivnyye othody — Radioactive Waste*, 2018, no 1 (2), pp. 7–14.

6. Abalkina I. L., Linge I. I. Osobennosti obrashcheniya s RAO ot vyvoda iz eksploatatsii [Peculiarities of Decommissioning Waste Management]. *Radioaktivnyye othody — Radioactive Waste*, 2018, no 3 (4), pp. 6–15.

7. Abramov A. A., Dorofeev A. N. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya sistemy obrashcheniya s RAO v Rossijskoj Federacii [Current State and Prospects of Development of the RW Managements System in the Russian Federation]. *Radioaktivnyye othody — Radioactive Waste*, 2017, no 1, pp. 10–21.

8. Pron I. A., Konovalov V. Y. Opyt eksploatatsii pripoverhnostnogo punkta zahoroneniya radioaktivnykh othodov 3 i 4 klassov [The Near-Surface Disposal Facilities of Radioactive Waste: Operational Experience]. *Radioaktivnyye othody — Radioactive Waste*, 2018, no 4 (5), pp. 8–14.

9. Joint Convention on the safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management, Vena. — URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/infirc546.pdf>.

10. Ignatiev V. V., Kormilitsyn M. V., Kormilitsyna L. A., Semchenkov Yu. M., Fedorov Yu. S., Feinberg O. S., Kryukov O. V., Khaperskaya A. V. Zhidkosolevoj reaktor dlya zamykaniya yadrenogo toplivnogo cikla po vsem aktinoidam [Molten-Salt Reactor for the Closure of the Nuclear Fuel Cycle for All Actinides]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2018, vol. 125, no. 5, pp. 251–255.

11. Van Den Durlpel L. On the value of recycling fuel cycles in competitive and uncertain energy markets. Atomespo. 2018. Sochi.

12. Ivanov V. K., Chekin S. Yu., Menyajlo A. N., Maksoutov M. A., Tumanov K. A., Kashcheeva P. V., Lovachev S. S., Adamov E. O., Lopatkin A. V. Urovni radiologicheskoy zashchity naseleniya pri realizacii principa radiacionnoj ekvivalentnosti: risk-orientirovannyj podhod [Application of the radiation equivalence principle to estimation of levels of radiological protection of the population: risk-oriented approach]. *Radiaciya i risk — Radiation and Risk*, 2018, vol. 27, no. 3, pp. 9–23.

13. Bol'shov L. A., Arutyunyan R. V., Linge I. I., Vorob'yeva L. M., Kazakov S. V., Pavlovskiy O. A., Kobrinskiy M. N., Osip'yants I. A. Yadernye tekhnologii i ekologicheskie problemy v Rossii v XXI veke [Nuclear Technologies and environmental problems in Russia in the XXI century]. *Byulleten' po atomnoj energii — Byulleten' po atomnoy energii*. 2003. no. 5. pp. 15–19.

14. Abalkina I. L. Opyt zahoroneniya ONAO: perspektivy dlya Rossii [Disposal Experience: Perspectives for Russia]. *Radioaktivnyye othody — Radioactive Waste*, 2018, no. 4 (5), pp. 15–23.

15. SanPiN 2.6.1.2800-10. Trebovaniya radiatsionnoy bezopasnosti pri obluchenii naseleniya prirodnyimi istochnikami ioniziruyushchego izlucheniya [Radiation safety requirements for population exposure to natural sources of ionizing radiation].

16. Strategicheskij master-plan resheniya problem Techenskogo kaskada vodoyemov FGUP «PO «Mayak» [Strategic Master-Plan for solution of the problems of Techa water reservoir range of FSUE “PA “Mayak”] / IBRAE RAN i dr. Utverzhden gen. direktorom Goskorporatsii «Rosatom» ot 15.02.2016.

17. Osobyje radioaktivnyye otkhody [Special radioactive waste]. Pod obshch. red. I. I. Linge. Moscow, “SAM poligrafist” Publ., 2015. 240 p.

18. Mokrov Yu. G., Alexakhin A. I. Monitoring — osnova obespecheniya bezopasnosti pri vypolnenii rabot po konservacii vodoema Karachaj [Monitoring as the Basis for Ensuring Safety of Karachay Lake Closure Implementation]. *Radioaktivnyye othody — Radioactive Waste*, 2018, no. 3 (4), pp. 60–68.

19. Obosnovyvyayushchiye materialy «Otneseniye radioaktivnykh otkhodov, razmeshchennykh v poligone PZ TRO V-9, k osobym radioaktivnym otkhodam [Justification materials “Designation of radioactive waste located SRW disposal site V-9 as special radioactive waste”]. Utv. gen. direktorom FGUP «PO «Mayak». Ozersk 2014, FGUP «PO «Mayak». 45 p.

20. Dorofeev A. N., Linge I. I., Samoylov A. A., Sharafutdinov R. B. K voprosu finansovo-ekonomicheskogo obosnovaniya povysheniya effektivnosti normativnoj bazy EGS RAO [Feasibility study on enhancing the efficiency of uss rw regulatory framework]. *Radioaktivnyye othody — Radioactive Waste*, 2017, no. 1, pp. 22–31.

21. Federal'nyye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii «Trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti punktov razmeshcheniya osobykh radioaktivnykh otkhodov i punktov konservatsii osobykh radioaktivnykh otkhodov (NP-103-17)» [Federal codes and standards in the field of use of atomic energy “Safety requirements for special radioactive waste storage and conservation facilities (NP-103-17)”. Utv. prikazom Federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 10 oktyabrya 2017 g. № 418.

22. Samoylov A. A., Boldyrev A. K., Mokrov Yu. G. Podkhody k optimizatsii konservatsii vodoyemakhkhranilishcha V-17 [Approaches to optimization of conservation of V-17 storage pond]. *Voprosy radiatsionnoy bezopasnosti*, 2019, no. 1 (93).
23. Obosnovaniye dlya prinyatiya resheniya ob otneseni radioaktivnykh otkhodov k osobym radioaktivnym otkhodam (ob"yekt – konserviruyemoye khvostokhranilishche №1 OAO «CHMZ») [Justification of radioactive waste designation as special radioactive waste (facility - conserved tailing dump No. 1 of JSC “TchMZ”)]. Utv. gen. direktorom OAO «CHMZ» ot 03.07.2014. Glazov. 2014. 48 p.
24. Priказ "Goskorporatsii Rosatom" ot 28.09.2016 g. № 1/24-NPA «Ob utverzhdenii form otchetov v oblasti gosudarstvennogo ucheta i kontrolya radioaktivnykh veshchestv, radioaktivnykh otkhodov i yadernykh materialov, ne podlezhashchikh uchetu v sisteme gosudarstvennogo ucheta i kontrolya yadernykh materialov, aktivnost' kotorykh bol'she ili ravna minimal'no znachimoy aktivnosti ili udel'naya aktivnost' kotorykh bol'she ili ravna minimal'no znachimoy udel'noy aktivnosti, ustanovlennoy federal'nymi normami i pravilami v oblasti ispol'zovaniya atomnoy energii, poryadka i srokov predostavleniya otchetov» [Order of State Corporation "Rosatom" of 28.09.2016 No. 1/24-NPA "On approval of reporting forms in the field of state accounting and control of radioactive materials, radioactive waste, and nuclear materials not subject to accounting in the state system for nuclear material accounting and control, and having activity in excess of or equal to minimum significant activity, or specific activity in excess of or equal to minimum significant activity as stipulated by the federal codes and standards in the field of nuclear energy use, procedures and dates of reporting"]].
25. Postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 19 oktyabrya 2012 g. № 1069 «O kriteriyakh otneseniya tverdykh, zhidkikh i gazoobraznykh otkhodov k radioaktivnym otkhodam, kriteriyakh otneseniya radioaktivnykh otkhodov k osobym radioaktivnym otkhodam i k udalyayemym radioaktivnym otkhodam i kriteriyakh klassifikatsii udalyayemykh radioaktivnykh otkhodov» [Decree of the Government of the Russian Federation of 19 October 2012 No. 1069 "On the criteria of designation of solid, liquid and gaseous waste as radioactive waste, criteria of radioactive waste designation as special radioactive waste and removable radioactive waste and criteria of classification of removable radioactive waste"]].
26. Alexandrova T. A., Blokhin P. A., Samoylov A. A., Kuryndin A. V. Analiz dannykh po radionuklidnomu sostavu RAO v kontekste ocenki dolgovremennoy bezopasnosti ih zahoroneniya [Analysis of the RW Radionuclide Composition in the Context of Long-Term Safety of Its Disposal]. *Radioaktivnye othody – Radioactive Waste*, 2018, no. 2 (3), pp. 44–51.
27. Savkin M. N., Vedernikova M. V., Panchenko S. V. Vzaimnoe vliyaniye ob"ektov zhivoj prirody i punktov zahoroneniya radioaktivnykh otkhodov: ekologicheskaya i tekhnicheskaya bezopasnost' [Mutual Influence of Non-Human Biota and Radioactive Waste Disposal Facilities: Environmental and Engineering Safety]. *Radioaktivnye othody – Radioactive Waste*, 2018, no. 3 (4), pp. 30–38.
28. Pavliuk A. O., Kotlyarevskiy S. G., Markov S. A., Shatrov M. V. Organizatsiya i rezul'taty monitoringa punkta hraneniya radioaktivnykh otkhodov, sozdannogo pri vyvode iz ekspluatatsii promyshlennogo uran-grafitovogo reaktora EI-2 [Monitoring of RW Storage Facility Built as a Result of EI-2 Uranium-Graphite Reactor Decommissioning]. *Radioaktivnye othody – Radioactive Waste*, 2018, no. 3 (4), pp. 69–77.

### Information about the authors

Vedernikova Marina Vladimirovna, PhD, researcher, Nuclear Safety Institute of the Russia Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая St., Moscow, 115191, Russia), e-mail: vmv@ibrae.ac.ru.

Ivanov Artem Yurievich, Head of Department for Information Support of Nuclear and Radiation Safety Programs, Nuclear Safety Institute of the Russia Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая St., Moscow, 115191, Russia), e-mail: aivanov@ibrae.ac.ru.

Linge Igor Innokentevich, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director, Nuclear Safety Institute of the Russia Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая St., Moscow, 115191, Russia), e-mail: linge@ibrae.ac.ru.

Samoylov Andrey Anatol'evich, Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulsкая st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: samoylov@ibrae.ac.ru.

### Bibliographic description

Vedernikova M. V., Ivanov A. Yu., Linge I. I., Samoylov A. A. Optimization of contaminated materials and radioactive waste management within industrial sites. *Radioactive Waste*, 2019, no. 2 (7), pp. 6–17. (In Russian). DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-6-17