

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи

ВЕДЕРНИКОВА МАРИНА ВЛАДИМИРОВНА

**МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО ОБОСНОВАНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИЕМЛЕМОСТИ
ПУНКТОВ ХРАНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА
ЗАВЕРШАЮЩЕЙ СТАДИИ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование,
эксплуатацию и вывод из эксплуатации

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н. И. И. Линге

МОСКВА – 2016

Оглавление

Введение.....	4
1 Обзор международных и отечественных принципов и подходов обеспечения безопасности и экологической приемлемости захоронения РАО.....	10
1.1 Стадии жизненного цикла ПХРО.....	12
1.2 Состояние системы обращения с РАО в Российской Федерации и перспективы её развития	13
1.3 Зарубежный опыт окончательной локализации накопленных РАО и ОНРАО	20
Заключение к главе 1	24
2 Общие предпосылки и подходы при разработке комплексного метода.....	26
2.1 Обоснование необходимости установления комплексного критерия для выбора безопасного и экологически приемлемого завершения жизненного цикла ПХРО	26
2.2 Общие подходы комплексного метода.....	33
2.3 Формирование нормативно – правовых условий разработки комплексного метода.....	42
Заключение к главе 2.....	48
3 Развитие комплексного метода с учетом принятых нормативно-правовых документов.....	49
3.1 Определение состава и границ ПХРО	52
3.2 Определение периода потенциальной опасности РАО и расчетного периода.	54
3.3 Требование к проведению оценки принципиальной возможности локализации РАО в месте их нахождения.....	56
3.4 Формирование сценариев обращения с РАО.....	59
3.5 Сравнение коллективных эффективных доз облучения.....	61
3.6 Сравнение рисков потенциального облучения.....	67
3.7 Сравнение оценок затрат и совокупного размера возможного вреда окружающей среде	73
Заключение по главе 3.....	88
4 Аprobация и результаты практического применения комплексного метода.....	92
4.1 Аprobация комплексного метода.....	92
4.2 Практическое применение комплексного метода	94
4.3 Перспективы развития комплексного метода.....	104
Заключение к главе 4.....	107
Заключение.....	109

Список сокращений.....	112
Список литературы.....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ А	124
ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ	128

Введение

Актуальность темы исследования

К началу исследования ситуация в сфере обращения с радиоактивными отходами (РАО) в России характеризовалась следующими векторами:

Национальной стратегией, сформулированной в «Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2010 года и дальнейшую перспективу» (Основы). К факторам, определяющим государственную политику в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, была отнесена необходимость обращения с РАО, накопленными в результате создания ядерного оружия и производства ядерных оружейных материалов, функционирования предприятий атомной энергетики и промышленности, эксплуатации подводных лодок, надводных кораблей и судов с ядерными энергетическими установками, а также в результате иных видов деятельности в области использования атомной энергии в Российской Федерации. Основами предусмотрена разработка комплекса мер, направленных на реконструкцию и модернизацию пунктов хранения РАО (ПХРО) и развитие методов оценки радиационной безопасности при проведении работ с отходами. Планом реализации Основ предполагалась разработка федерального закона, регулирующего обращение с РАО.

Международными обязательствами, направленными на решение задач по повышению эффективности обеспечения безопасности и гармонизации отечественного и международного регулирования. В 2005 г. Российской Федерацией ратифицирована «Объединенная конвенция о безопасном обращении с отработавшим топливом и о безопасном обращении с радиоактивными отходами», в соответствии с которой государство взяло на себя ответственность по рассмотрению практической деятельности в области обращения РАО в прошлом, а также, при необходимости, принятие своевременных мер для обеспечения безопасности существующих установок для обращения с РАО.

В 2007 году была утверждена Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года», в 2008 году начата реализация мероприятий.

В эксплуатирующих организациях были накоплены большие объемы жидких и твердых РАО, размещенных в ПХРО, которые зачастую создавались как пункты захоронения, но в последующем решения по которым не были признаны экологически приемлемыми, и не были обеспечены решениями по конечным стадиям жизненного цикла. Отсутствовала единая система обращения с РАО, направленная на их захоронение.

Таким образом, актуальность темы диссертационного исследования обусловлена тремя обстоятельствами:

1. Формулированием целей и задач исследования (в 2008 г.) в преддверии глубокой модернизации системы обращения с РАО в Российской Федерации и регулирующих основ её функционирования с учетом их предполагаемых изменений, а потом и их практической реализации;
2. Направленностью на решение практических задач, определенных статьями 3, 4, 23 и 26 Федерального закона от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», и принятыми в его реализацию постановлениями Правительства Российской Федерации от 25 июля 2012 г. № 767 «О проведении первичной регистрации РАО», от 19 ноября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к РАО, критериях отнесения РАО к особым РАО и к удаляемым РАО и критериях классификации удаляемых РАО», от 19 ноября 2012 г. № 1185 «Об определении порядка и сроков создания единой государственной системы обращения с РАО» и др.;
3. Высокой значимостью отнесения РАО к особым РАО, которые можно безопасно захоранивать в месте их нахождения, для темпов решения накопленных проблем, а также успешности развертывания и эффективности функционирования создаваемой единой государственной системы обращения с РАО (ЕГС РАО).

Актуальность подтвердилась высоким уровнем востребованности и практического применения комплексного метода со стороны организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты в рамках первичной регистрации РАО, проведенной в 2013–2014 гг.

Цели и задачи исследования

Основной целью диссертационного исследования являлась разработка детализированного метода комплексного обоснования безопасности и экологической приемлемости ПХРО на завершающей стадии их жизненного цикла (далее – комплексный метод) и необходимого для его применения информационно-аналитического обеспечения.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- определить основные принципы, подходы и допущения, достаточные для обоснования безопасности и экологической приемлемости ПХРО в случае их захоронения на месте (отнесения РАО к особым РАО);
- разработать способы формирования альтернативных сценариев обращения с РАО и алгоритмы оценки критериальных параметров (коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения, расходов на удаление РАО и их

захоронение в месте нахождения, совокупного размера возможного вреда окружающей среде);

- систематизировать имеющиеся данные и выработать алгоритмы получения недостающих для оценок критериальных параметров или необходимых для их оценок величин (финансовые расходы на выполнение отдельных операций по обращению с РАО и удельные коллективные эффективные дозы облучения персонала и др.);
- обеспечить экспертную поддержку эксплуатирующих организаций при проведении первичной регистрации РАО и подведении её итогов в части отнесения РАО к особым.

Научная новизна работы

Определен основной фактор, влияющий на темпы развертывания и эффективность функционирования ЕГС РАО, а именно возможность захоронения на месте ранее накопленных РАО и вновь образующихся РАО очень низкой активности (ОНРАО).

Определены и обоснованы научно-методические процедуры проведения оценок ранее не применявшихся 7-ми критериальных параметров на длительный период и необходимые параметры для их оценки (36 таблиц).

В рамках комплексного метода впервые применены и обеспечены информационно-методическим наполнением базовые принципы радиационной защиты. Комплексный метод ориентируется на принцип обоснования при принятии решений по отнесению отходов к особым РАО, с учетом того, что предшествующие этапы были не в полной мере рассмотрены и обоснованы в логике полного жизненного цикла. Предусмотрено, что оптимизация радиационной защиты будет проведена на этапе практического проектирования работ по консервации ПХРО. Принцип нормирования применен для исключения из рассмотрения сценариев обращения с РАО, этапов, работ и условий облучения ему не соответствующих.

Практическая значимость работы определяется

Высоким уровнем востребованности и практического применения комплексного метода (свыше 70 применений в течение первого года после разработки).

Большим объемом сокращения потенциальных расходов на обращение с накопленными РАО – более 260 млрд руб. и коллективных эффективных доз облучения персонала – более 50 чел.·Зв.

Комплексный метод в дальнейшем может быть использован для обоснования отнесения РАО к особым в отношении объектов, по которым в рамках первичной регистрации РАО было принято отложенное решение. Такие же обоснования потребуются при переводе пунктов размещения в пункты консервации, с учетом увеличенного объема и активности РАО в ПХРО,

за счет размещения вновь образующихся отходов. Кроме этого, комплексный метод может быть использован для принятия решений о реабилитации загрязненных территорий.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Комплексный метод, основанный на применении базовых принципов радиационной защиты (обоснование стратегического варианта, предпроектная оптимизация и исключение из рассмотрения сценариев облучения, не отвечающих принципу нормирования).
2. Подходы к оценке базовых компонент коллективных доз облучения, рисков потенциально облучения и финансовых затрат по ключевым операциям и алгоритмы расчета 7-ми критериальных показателей.
3. Практическое доказательство возможности применения консервативного подхода при оценке совокупного размера возможного вреда окружающей среде.
4. Интеграция в рамках комплексного метода совокупности подходов и алгоритмов расчета критериальных показателей, дополнительных требований, необходимых справочных данных и рекомендаций по их применению.
5. Аналитическое доказательство преимущества захоронения ОНРАО на месте (на промышленных площадках организаций, эксплуатирующих особо ядерно и радиационно опасные объекты (ЯРОО), в том числе АЭС).
6. Результаты практического применения разработанного комплексного метода, соответствующего критериям отнесения РАО к особым, действующим регулирующим обращение с РАО федеральным нормам и правилам, санитарным правилам в области обеспечения радиационной безопасности, а также законодательству Российской Федерации об охране окружающей среды.

Степень достоверности

Достоверность полученных результатов и выводов, полученных в рамках диссертационного исследования, подтверждается рассмотрением и согласованием материалов комплексного метода и полученных с его использованием результатов практически всеми заинтересованными сторонами, в том числе органами государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии.

Личный вклад автора заключается в:

- разработке и формулировке основных положений комплексного метода, концепции формы и содержания научно-технического пособия по применению комплексного метода;
- определении алгоритмов проведения оценок критериальных показателей (коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения,

финансовых затрат по ключевым операциям, совокупного размера возможного вреда окружающей среде)

- обзоре и систематизации данных о работах по обращению с РАО;
- информационном наполнении пособия исходными данными для обеспечения проведения расчетов и оценок критериальных показателей для двух вариантов обращения с накопленными РАО;
- обеспечении экспертной поддержки эксплуатирующих организаций и органа государственного управления в области обращения с РАО при проведении первичной регистрации РАО и подведении её итогов.

Апробация работы и публикации

Материалы диссертации докладывались на следующих мероприятиях:

Четвертая конференция молодых ученых и специалистов с элементами научной школы Радуга-2011 «Обращение с радиоактивными отходами. Проблемы и решения», проходившей в Сергиевом Посаде 5-7 октября 2011 г.;

XIV научная школа молодых ученых ИБРАЭ РАН, г. Москва, 25-26 апреля 2013 г.;

6-е Всероссийское семинар-совещание «Система государственного учета и контроля РВ и РАО», г. Санкт Петербург, 23-27 июня 2014 г.,

Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы радиационной гигиены», посвященная 85-летию со дня рождения профессора П.В. Рамзаева, г. Санкт-Петербург, 2-3 октября 2014 года.

Всероссийский VII Съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность), г. Москва, 21-24 октября 2014 г.

IX Международный ядерный форум «Безопасность ядерных технологий», г. Санкт Петербург, 2014 г.

VII Международный форум «АТОМЭКСПО 2015», г. Москва, 2 июня 2015 г.

Отраслевое совещание «Оптимизация решений по безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии», ИБРАЭ РАН, г. Москва, 27 мая 2015 г.

Заседание секции № 1 «Экологическая и радиационная безопасности пунктов долговременного хранения, консервации и захоронения РАО» Научно-технического совета №10 Госкорпорации «Росатом», ИБРАЭ РАН, г. Москва, 26 мая 2015 г.

Всероссийская конференция XVI Школа молодых ученых ИБРАЭ РАН «Безопасность и риски в энергетике», ИБРАЭ РАН, г. Москва, 23-24 апреля 2015 г.

10-я Юбилейная Российская научная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях», г. Москва, 22-25 сентября 2015 г.

VII Международная выставка и конференция «АТОМЭКО-2015», г. Москва, 9 ноября 2015 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 научных работ, из них 1 научно-техническое пособие, 1 монография, 8 в специализированных изданиях, включая 3 статьи в журналах по перечню ВАК Минобрнауки России, 12 докладов на российских и международных конференциях и семинарах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 117 библиографических ссылок. Общий объем работы составляет 129 страниц основного текста, включая 24 таблицы и 25 рисунков, в том числе графики, а также 1 приложение.

1 Обзор международных и отечественных принципов и подходов обеспечения безопасности и экологической приемлемости захоронения РАО

Тема диссертационного исследования посвящена завершающим стадиям жизненного цикла ПХРО. В этой связи до начала анализа ситуации необходимо констатировать несколько важных обстоятельств.

1. Для основных категорий объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) (ядерных установок и радиационных источников) завершающей стадией жизненного цикла является вывод из эксплуатации (ВЭ), и только для ПХРО возможна альтернатива. Так, если это пункт захоронения РАО (ПЗРО), то завершающей стадией жизненного цикла является его закрытие. В случае если это пункт временного хранения – извлечение РАО и ликвидация объекта.

2. Развитая международная система требований в отношении завершающих стадий жизненного цикла ОИАЭ была разработана в последние десятилетия и стала одной из главных отличительных черт современной системы обеспечения безопасности [1].

3. Для российской системы нормативно-правового регулирования безопасности, сформировавшейся почти на полвека позже появления основных производств атомной отрасли, был характерен высокий уровень размытости содержания и требований к завершающим стадиям жизненного цикла [1]. Например, понятие «вывод из эксплуатации» встречается в статьях 3, 4, 9, 10, 13, 14, 26 и 33 Федерального закона «Об использовании атомной энергии» [2]. Однако его содержание ни в одной из них не раскрывается. В законе есть указание на то, что «порядок и меры по обеспечению ВЭ ... ПХРО должны быть предусмотрены в проекте ОИАЭ в соответствии с нормами и правилами в области использования атомной энергии», что также не дает никаких ориентиров по их детализации. Особенно остро задача определения конечной стадии жизненного цикла встает в отношении уже существующих ПХРО, в особенности объектов, проектная документация которых отсутствует или не содержит необходимых данных.

4. В последние годы этот дефицит требований и руководств устраняется, в том числе благодаря усилиям коллектива, в котором работает автор исследования. Определение данного понятия, а также значительный объем требований, касающихся ВЭ, содержится в «Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с РАО» (далее – Объединенная конвенция), ратифицированной Российской Федерацией в 2005 году [3]. В ней, правда, используется иной термин – «снятие с эксплуатации», что, в свою очередь, означает все меры, ведущие к освобождению ядерной установки, иной, чем установка для захоронения, из-под регулирующего контроля. Такие меры включают процессы дезактивации и демонтажа. Объединенная конвенция фиксирует, что в отношении снятия с эксплуатации установки для обращения с отработавшим топливом и РАО

договаривающиеся стороны обеспечивают меры, чтобы на стадии проектирования принимались во внимание концептуальные планы и технические положения в отношении снятия с эксплуатации такой установки.

5. В 2011 году статья 3 базового закона [2] была дополнена новой частью, которая дала перечень стадий полного жизненного цикла ОИАЭ: размещение, проектирование (включая изыскания), конструирование, производство, сооружение или строительство (включая монтаж, наладку, ввод в эксплуатацию), эксплуатация, реконструкция, капитальный ремонт, ВЭ (закрытие), транспортирование (перевозка), обращение, хранение, захоронение и утилизация ОИАЭ. В этой же статье одновременно появились указания на возможности определения (выделения) нового ОИАЭ и его состава из уже существующего.

6. В отличие от Федерального закона [2] в Объединенной конвенции предусмотрены требования по обеспечению безопасности ранее созданных объектов. Статья 12 этой конвенции устанавливает, что «каждая Договаривающаяся Сторона своевременно принимает соответствующие меры для рассмотрения: i) безопасности любой установки для обращения с РАО, существующей на момент вступления настоящей Конвенции в силу для этой Договаривающейся Стороны, и обеспечения того, чтобы в случае необходимости были выполнены все разумно осуществимые на практике усовершенствования в целях повышения безопасности такой установки; ii) результатов практической деятельности в прошлом с целью определения необходимости какого-либо вмешательства по причинам радиационной защиты, учитывая, что уменьшение вредного воздействия в результате сокращения дозы должно быть достаточным для обоснования ущерба и издержек, в том числе социальных издержек, связанных с таким вмешательством».

7. Федеральный закон [4] по обращению с РАО в значительной мере сформировал правовые механизмы определения текущего статуса ПХРО, в том числе ранее созданных, и последующих трансформаций этого статуса и связанных с ним стадий жизненного цикла. Все эти установления крайне важны для так называемых «объектов наследия» в случаях, когда стадии жизненного цикла не были определены при решении вопросов его размещения, сооружения и проектирования. К таким случаям относилось большинство объектов.

Следовательно, в рамках динамично развивающейся нормативно - правовой системы в России и переход к международно-принятой практике захоронения не только вновь образующихся, но и накопленных РАО, требовал разработку метода, позволяющего принять решение об оптимальном и обоснованно безопасном способе окончательной изоляции отходов в отношении каждого существующего объекта.

1.1 Стадии жизненного цикла ПХРО

В отношении новых ПХРО в соответствии с [2] проектом должны предусматриваться порядок и меры по ВЭ, включающие работы по извлечению РАО, с дальнейшей передачей их на захоронение в централизованный ПЗРО, и ВЭ самого ПХРО (ликвидация объекта). Конечной стадией ПЗРО является их закрытие (Рисунок 1.1). Согласно [5], «эксплуатирующая организация должна осуществлять систематическое планирование работ по закрытию ПЗРО (ПГЗ ЖРО) на всех этапах его жизненного цикла», при этом проект закрытия должен быть подготовлен к началу проведения работ с учетом данных, «полученных в результате КИРО, и анализа проектной и эксплуатационной документации ПЗРО (ПГЗ ЖРО)».

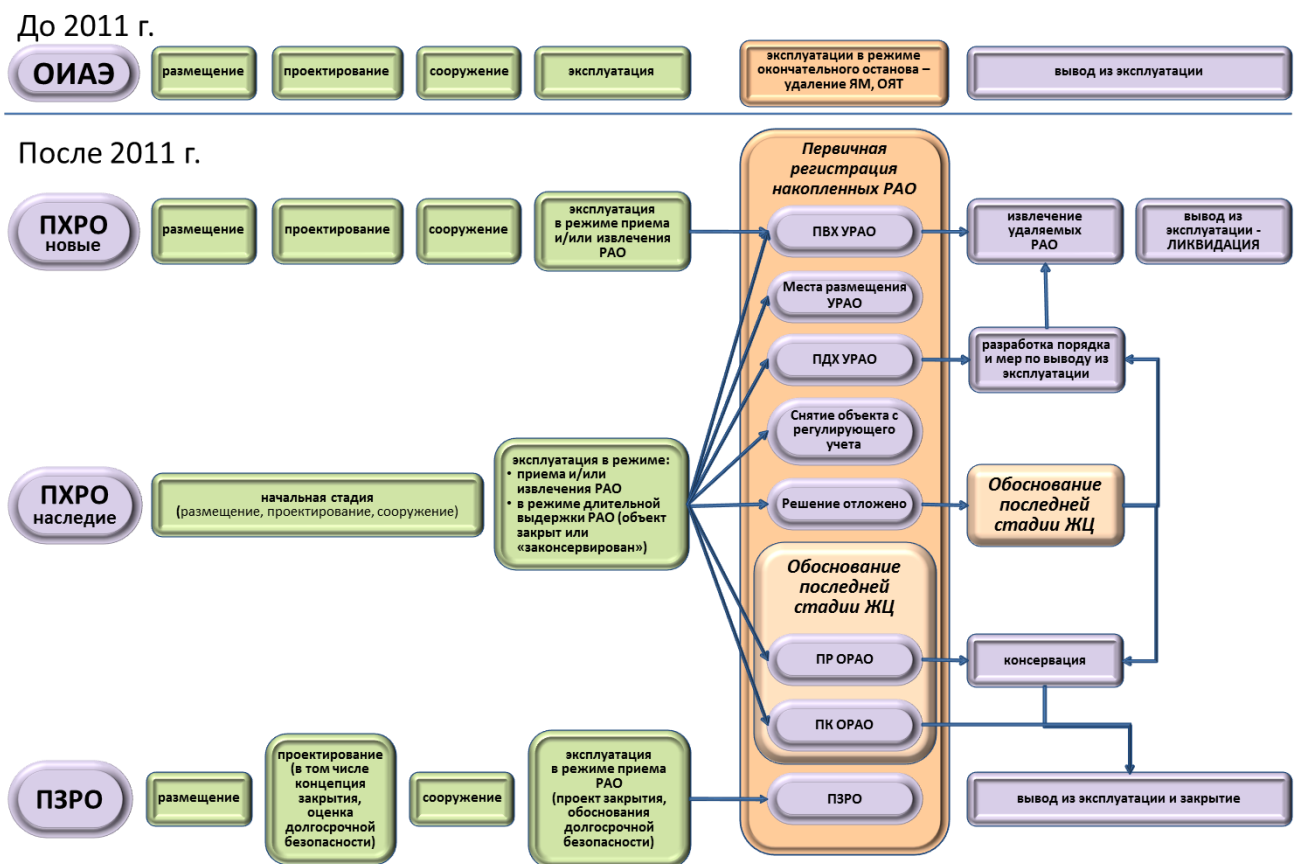


Рисунок 1.1 – Стадии жизненного цикла ОИАЭ, в том числе новых ПХРО, ПЗРО и пунктов ПХРО накопленных отходов

Другая ситуация с ПХРО, сооруженными до 1995 г., решение о конечной стадии жизненного цикла которых постоянно откладывалось. Сроки эксплуатации объектов продлялись после завершения проектных сроков эксплуатации и проведения работ по модернизации барьеров безопасности, и только в единичных случаях принимались решения о переводе объектов на следующую стадию жизненного цикла: ликвидацию, предусматривающую извлечение РАО, или консервацию объекта. Хуже всего обстояла

ситуация с бесхозными объектами, проектные сроки эксплуатации барьеров безопасности которых истекли (объекты, образовавшиеся при использовании ядерных зарядов в мирных целях, добычи урановой руды и ряд других).

1.2 Состояние системы обращения с РАО в Российской Федерации и перспективы её развития

На момент начала диссертационного исследования состояние системы обращения с РАО в Российской Федерации характеризовалось следующими факторами.

1) За 60 лет существования атомной отрасли на территории России по оценкам Системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов (далее – СГУК РВ и РАО) насчитывалось более 800 объектов размещения РАО, общий объем отходов в которых превышал 470 млн м³ ЖРО и 76 млн т ТРО (данные 2007 г.). Основной практикой обращения с РАО являлась их частичная переработка и хранение. Для размещения ТРО на предприятиях отрасли использовались сооружения различных типов – от грунтовых могильников, в которые отходы размещались навалом без упаковки, до проектных специализированных зданий, имеющих многоступенчатую систему безопасности и предназначенных для адресного хранения остеклованных отходов. Созданные в XX веке хранилища различались по назначению и свойствам.

Наибольший объем ЖРО размещен в специальных водоемах-хранилищах на территории трех предприятий (ФГУП «ПО «Маяк», АО «СХК» и ФГУП ФЯО «ГХК»), а также в емкостях-хранилищах (ФГУП «ПО «Маяк», АО «Концерн «Росэнергоатом» и др.). Жидкие отходы трех предприятий: АО «СХК», ФГУП ФЯО «ГХК» и АО «ГНЦ НИИАР» после необходимой переработки захораниваются в ПГЗ ЖРО.

Наибольший объем ТРО размещен в хвостохранилищах уранодобывающих и перерабатывающих предприятий (ПАО «ППГХО», АО «ЧМЗ», ПАО «НЗХК», ПАО «МСЗ», а также в хвостохранилище бывшего уранодобывающего предприятия «Алмаз»), в различных приповерхностных хранилищах (грунтовые и железобетонные могильники, специализированные здания и т.д.) на территории практически всех предприятий, где образуются отходы.

Операции по обращению с РАО проводились организациями «своими силами», и только небольшая часть отходов, образующаяся в народном хозяйстве, сдавалась в специально созданные в 60-х гг. Спецкомбинаты «Радон», на территории которых они размещались на «захоронение» в специализированные могильники, в основном также без дополнительной переработки.

Зачастую документы по обоснованию долговременной безопасности хранения, в том числе после закрытия (консервации) ПХРО, не в полной мере соответствовали современным требованиям стандартов МАГАТЭ. Захоронение РАО, в соответствии с современными требованиями, осуществлялось только в отношении ЖРО, посредством их закачки в поглощающие пласти коллекторы.

2) Во исполнение требований [2] были:

- а) Разработаны и введены в действие федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии, регулирующие основные вопросы обеспечения безопасности при обращении с РАО [6–13]. В частности, федеральные нормы и правила устанавливали требования к обращению с твердыми, жидкими, газообразными РАО на стадиях образования, хранения, переработки, транспортировки, захоронения. Требования по обязательности захоронения РАО установлены не были.
- б) Была создана и функционировала СГУК РВ и РАО [14], предназначенная для определения наличного количества, осуществления учета и контроля РВ и РАО. Целями работы СГУК РВ и РАО является предотвращение их потерь, несанкционированного использования и хищений, а также предоставление в установленном порядке различным органам соответствующей информации о наличии, перемещении, экспорте и импорте РВ и РАО. В 2000 и 2005 гг. была проведена первичная и отраслевая инвентаризации РАО, соответственно, в рамках которых впервые была собрана информация о местах размещения РАО, их объемах и активностях, а также об организациях, в чьем ведении, хозяйственном управлении находятся ПХРО. Впервые были собраны сведения о характеристиках самих ПХРО (наименование, дата ввода и ВЭ, наличие проекта, лимиты на объем и активность), а также о барьерах безопасности ПХРО, как инженерных (наименование материалов, их толщина), так и естественных (грунт, коэффициент фильтрации грунта, эффективная пористость). СГУК РВ и РАО разработана система типизации ПХРО, которая насчитывала 33 типа ПХРО (от ПХРО курганного типа до реакторного отсека на плаву). При этом все еще не собирались данные о безопасности эксплуатации объектов. Сбор и систематизация данных о наличии решений по дальнейшему обращению с РАО в СГУК РВ и РАО не предусматривались, как не предусматривался и анализ полученных в ходе инвентаризаций данных.

3) С первых лет функционирования атомной отрасли разрабатывались и совершенствовались нормы радиационной безопасности персонала и населения. К началу XXI

века уже сформировалась современная система обеспечения радиационной безопасности в соответствии с Федеральным законом от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения», а также Федеральным законом от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». Введены в действие современные санитарные правила [15–18], которые регламентировали допустимые уровни облучения населения и персонала на разных стадиях обращения с РАО. Необходимо отметить, что данные требования в части ограничения доз облучения персонала и населения при обращении с РАО в основном выполнялись.

4) В 2005 году Российской Федерацией была ратифицирована Объединенная конвенция [3], которая требовала развития системы обращения с РАО, с учетом обеспечения взаимозависимости различных стадий обращения с РАО, включая захоронение. При этом обращение с РАО должно отвечать требованиям безопасности МАГАТЭ. Развернутые требования обоснования безопасности при захоронении РАО, в том числе на этапах размещения, сооружения, эксплуатации и закрытия пунктов захоронения содержатся в большом количестве документов, в том числе в SSR-5 [19]. Однако этим же документом предусматривается, что *«на некоторых существующих установках, сооруженных в соответствии с нормами, принятыми ранее, требования, установленные в нормах МАГАТЭ по безопасности, в полном объеме соблюдаться не могут. Вопрос о том, как нормы МАГАТЭ по безопасности должны применяться на таких установках, решают сами государства»*. Таким образом, вопрос выбора способа обращения с ранее накопленными РАО является прерогативой национальных органов регулирования безопасности и на рассматриваемый период решен не был.

5) В ряде организаций были проведены (начаты) работы по извлечению РАО из ПХРО. Наиболее интенсивно эти работы велись на бывших береговых технических базах и в г. Москве на территории НИЦ «Курчатовский институт». В рамках выполненных работ только с 2002 по 2006 гг. было извлечено, отсортировано и упаковано РАО объемом более 4200 м³ из 10 объектов. Стоимость работ составила более 1 млрд руб. [20].

Понимание рисков, связанных с поверхностными водоемами-хранилищами ЖРО, инициировало работы по закрытию их акваторий. С 1970-х годов проводились работы по ликвидации акватории водоема-хранилища жидких РАО – оз. Карачай ФГУП «ПО «Маяк». За это время было закрыто до 80% всей площади, локализовано до 95% активности [20].

Кроме этого, начались работы по консервации водоемов-хранилищ жидких РАО. Так в 2001 г. были закончены работы по первой очереди консервации водоема Б-2 АО «СХК», в результате которых были полностью закрыты грунтом пульпы, что позволило существенно улучшить радиационную обстановку в зоне размещения пункта хранения РАО. Результаты

мониторинга объекта после его консервации позволил обосновать безопасность выполненных работ [21].

б) С конца 90-х годов начались работы по комплексной утилизации атомных подводных лодок (АПЛ) и реабилитации береговых технических баз. В 2008 году началась реализация ФЦП ЯРБ [22], ставшей основным инструментом решения проблем с накопленными РАО. Более 100 мероприятий программы предусматривали работы по тематике РАО. В части обращения с РАО предусматривалось: строительство новых пунктов временного хранения РАО, в том числе на Спецкомбинатах «Радон» (ныне – ФГУП «РосРАО» и ФГУП «РАДОН»); консервацию ПХРО на площадках ФГУП ФЯО «ГХК», АО «СХК» и др., удаление РАО из части объектов, а также проведение исследований в области переработки и кондиционирования накопленных РАО.

7) Прорабатывались вопросы развития системы обращения с РАО в Российской Федерации, в том числе велась разработка проекта Федерального закона «Об обращении с РАО». Законопроектом предусматривалось создание ЕГС РАО.

Наиболее детальным и информационно насыщенным документом того времени, рассматривавшим все аспекты развития системы обращения с РАО в Российской Федерации явилась «Дорожная карта создания ЕГС РАО» [23], которая начала разрабатываться после формирования основного замысла соответствующего законопроекта и поддерживалась в актуальном состоянии вплоть до середины 2009 года. В разработке проекта документа принимало участие большое количество специалистов Госкорпорации «Росатом», ИБРАЭ РАН, ФГУП «РосРАО»¹, ФГУП «ВНИИХТ», ФГУП «ВНИПИПТ», ФБУ «НТЦ ЯРБ» и ряда других организаций.

Основной замысел ЕГС РАО в 2008 году формулировался следующим образом: *«Целью создания и функционирования ЕГС РАО является обеспечение условий, при которых на принципе полной финансовой ответственности производителя будет осуществляться своевременное захоронение всех образующихся РАО, а ранее накопленные РАО при финансовой поддержке государства на плановой основе будут размещаться в пунктах захоронения в месте нахождения РАО или в централизованных пунктах захоронения»* [23]. Несмотря на более поздние понятийные изменения, этот замысел в целом соответствует законодательно закреплённому в ст.10 [4] назначению ЕГС РАО.

В рамках разработки Дорожной карты автором производились оценки объемов и активностей РАО, захоронение которых могло бы осуществляться на промышленных площадках организаций, в результате деятельности которых они образуются, и в

¹ В 2008 году в рамках формирования ЕГС РАО под управление Госкорпорации «Росатом» были переданы 15 специализированных комбинатов «Радон» (название новой организации – ФГУП «РосРАО»).

централизованных ПЗРО. Объемы накопленных РАО (Таблица 1.1) и вновь образующихся (Таблица 1.2) были настолько велики, что создание и эффективное функционирование ЕГС РАО представлялось возможным только в варианте глубокой модернизации систем категорирования и классификации РАО, включая выделение категории «особых» РАО среди накопленных и введения новой категории – ОНРАО, а также «РАО, образующихся при добыче и переработке урановых руд».

Таблица 1.1 – Данные по наличию РАО на конец 2007 г. (СГУК РВ и РАО) [17]

Агрегатное состояние	Категория	Объем, м ³ / масса, тонн
ЖРО	ВАО	$3,89 \cdot 10^4$ /-
ЖРО	САО	$1,31 \cdot 10^7$ /-
ЖРО	НАО	$4,61 \cdot 10^8$ /-
Всего ЖРО		$4,74 \cdot 10^8$ /-
ТРО	ВАО	$-9,00 \cdot 10^4$
ТРО	САО	$-1,25 \cdot 10^6$
ТРО	НАО	$-7,51 \cdot 10^7$
Всего ТРО		$-7,64 \cdot 10^7$

Таблица 1.2 – Данные по РАО, образовавшимся в 2007 г. (СГУК РВ и РАО) [17]

Агрегатное состояние	Категория	Объем, млн м ³ / масса млн т	Доля объема, % /массы, %	Активность, Бк	Доля активности, %
ЖРО	ВАО	0,01/-	0,20/-	$1,44 \cdot 10^{18}$	84,86
ЖРО	САО	0,17/-	4,10/-	$2,57 \cdot 10^{17}$	15,1
ЖРО	НАО	4,02/-	95,70/-	$6,80 \cdot 10^{14}$	0,04
Всего ЖРО		4,20/-	100/-	$1,70 \cdot 10^{18}$	100
ТРО	ВАО	-/0,0009	-/0,09	$2,67 \cdot 10^{16}$	99,25
ТРО	САО	-/0,0014	-/0,14	$1,83 \cdot 10^{14}$	0,68
ТРО	НАО	-/1,1873	-/99,77	$1,88 \cdot 10^{13}$	0,07
Всего ТРО		-/1,19	-/100	$2,69 \cdot 10^{16}$	100

С другой стороны, с учетом уже сформированных в то время представлений о стоимости захоронения в централизованных ПЗРО (Таблица 1.3), было очевидно, что затраты ряда

организаций отрасли на захоронение образующихся в результате их деятельности РАО будут чрезмерно высокими. ЕГС РАО должна обеспечить безопасное обращение с РАО, а значит, существующую категоризацию РАО по уровню удельной активности при хранении и переработке требуется модернизировать для обеспечения безопасного и экономически приемлемого захоронения.

Таблица 1.3 – Видение тарифов на захоронение РАО в рамках Дорожной карты

Категория РАО	Тыс. руб./тонн
НАО	100
САО	160
ВАО	1 000

Проведенный в рамках разработки Дорожной карты анализ типов ПХРО и характеристик накопленных в них РАО показал, что извлечение РАО из некоторых объектов для дальнейшей переработки и захоронения в централизованных ПЗРО приведет к чрезмерным затратам и высоким рискам, связанным с большим объемом грузоподъемных и транспортных операций. Собираемые в рамках СГУК РВ и РАО данные не давали полной информации о текущем состоянии ПХРО и не позволяли провести анализ возможности выполнения работ по захоронению РАО в месте их нахождения. Рассмотрим описание двух организованных ПХРО:

1. В 1955 году по решению Министра среднего машиностроения в ГНЦ РФ-ФЭИ было создано Сооружение 227 – специализированное хранилище для размещения 2600 м³ ТРО и 330 м³ ЖРО (размещено вне промплощадок АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» в районе городских очистных сооружений). В хранилище свозились все РАО Центрального региона [24].

Размещение отходов проводилось с 1955 по 1961 годы в четырех емкостях для ТРО (земляная траншея и 3 железобетонные емкости) и в одной емкости из железобетона, облицованной изнутри нержавеющей сталью, для ЖРО (Рисунок 1.2). Объекты были законсервированы после заполнения. Полные данные о радионуклидном составе, активности, объеме РАО в организации не сохранились.



Рисунок 1.2 – Расположение емкостей
Сооружения 227 и самого ПХРО [24,25]

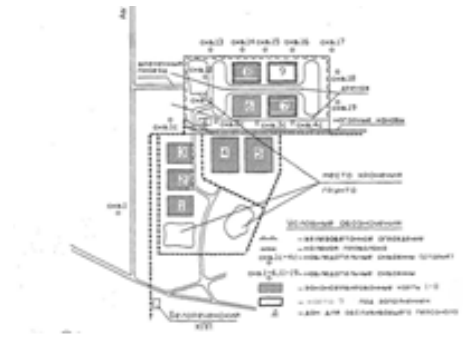


Рисунок 1.3 – Схема ПХРО [26]

В 1999 г. по данным контроля активности грунтовых вод в наблюдательных скважинах была обнаружена утечка радионуклидов Sr-90 и Cs-137 из емкостей. Одна из железобетонных емкостей ТРО имела множественные повреждения барьеров безопасности, ячейки были заполнены водой. По результатам проведенного в 1999–2001 гг. обследований была получена информация о распространении радионуклидов грунтовыми и паводковыми водами за пределы хранилища. В 2001 г. все ЖРО были извлечены из ПХРО для переработки. В 2003 г. в результате проведенных восстановительных работ срок эксплуатации емкостей ТРО был продлен до 2012 г. [25].

2. В период с 1964 по 1994 гг. в северной части промышленной зоны г. Новоуральска в 5 км от ближайшего населенного пункта в соответствии с проектом были сооружены и эксплуатировались пять карт ПХРО АО «УЭХК» (законсервированы в соответствии с проектом), с 1992 г. по настоящее время были сооружены еще 4 карты (Рисунок 1.3). Карты ПХРО представляют собой котлованы прямоугольной формы, дно и боковые склоны покрыты противофильтрационным глиняным замком. Вместимость каждого котлована – около 5000 м³. Отходы размещались навалом, и только с 2005 г. – в упаковках (металлических емкостях вместимостью 200 литров).

В 2007–2009 годах проведен анализ текущего уровня безопасности и долгосрочный прогноз безопасности ПХРО, по результатам которого сделаны следующие выводы:

а) радиационное воздействие ПХРО на население, персонал и окружающую среду не приводит к превышению установленных нормативными документами дозовых пределов облучения (удовлетворяет требованиям п. 2.3 [5]);

б) радиационное воздействие ПХРО после их закрытия и снятия с административного контроля при нормальном протекании естественных процессов на площадках их размещения не приведет к превышению установленной на захоронение квоты предела годовой эффективной дозы (выполнение первой части п. 2.4 [5]);

в) для лиц из всех критических групп населения, живущих в отдаленном будущем, ПХРО после закрытия создают индивидуальный радиационный риск, удовлетворяющий установленному в [5], для всех рассмотренных альтернативных сценариев эволюции (выполнение второй части п. 2.4 [5]) [26, 27].

Представленные примеры состояния ПХРО наглядно демонстрируют, что история создания ПХРО и предпринятые меры по обеспечению их безопасности имеют специфику, поэтому типовые (системные) решения не всегда пригодны для принятия системных решений о варианте ВЭ из эксплуатации.

1.3 Зарубежный опыт окончательной локализации накопленных РАО и ОНРАО

Вопрос обращения с накопленными РАО, образовавшимися при реализации ядерных оборонных программ, особо остро стоит и перед рядом других стран. Как и в России, в США накоплен большой комплекс проблем, связанных с обращением – захоронением РАО [28], к ним относятся, в том числе:

- отходы, включающие ВАО, трансурановые РАО, НАО, другие опасные отходы, а также вторичные материалы, которые частью 11 закона «Об атомной энергии» США от 1954 г. были отнесены к РАО;

- остановленные ядерные установки, в прошлом использовавшиеся для производства ядерного оружия, для которых дальнейшая эксплуатация не предусмотрена и планируется проведение работ по дезактивации и ВЭ.

К 1989 году на момент начала реализации американской программы по ВЭ, восстановлению качества окружающей среды и рекультивации загрязненных земель, ставшей самой масштабной в истории, американским специалистам предстояло решить целый ряд невероятно сложных задач [29], среди которых требовалось также осуществить обращение с более чем 2 млн м³ РАО, в том числе с НАО, смешанными, трансурановыми и ВАО, а также обращение с РАО, которые образуются при дезактивации и ликвидации сотен крупных радиоактивно загрязненных зданий и сооружений (реакторов, обогатительных и радиохимических заводов, ПХРО и лабораторий).

На сегодняшний день на реализацию программы по очистке площадок ЯОК США Министерство энергетики тратит в среднем около 6 млрд \$ в год, а общая сумма обязательств Министерства энергетики по природоохранной деятельности в 2013 году оценивалась на уровне 268 млрд \$ [28, 30].

В рамках этих работ многократно и обоснованно с позиций безопасности применялись решения по захоронению РАО в местах их нахождения. Каждое такое решение принималось с учетом результатов обследований каждого объекта, проведения оценок затрат и рисков, а также

с учетом проведенных комплексных обоснований безопасности. Решение по сооружению дополнительных барьеров безопасности для дальнейшего перевода в ПЗРО было принято, в том числе в отношении девяти ПХРО твердых трансураниевых отходов и НАО на территории Окриджской национальной лаборатории [31]. Аналогичное решение было принято и в отношении полигона «G» для захоронения трансураниевых РАО, который является одним из наиболее опасных объектов Лос-Аламоса. Он начал принимать трансураниевые РАО еще в начале 1970-х годов. По состоянию на октябрь 2011 года суммарный объем трансураниевых РАО, размещенных в данном ПХРО, составил 6 935 м³ [32]. К моменту завершения размещения РАО в ПХРО будет выбрана технология его закрытия. Наиболее перспективной на данный момент признана концепция многослойной засыпки полигона.

Стоит отметить, что зачастую принималось решение о сооружении централизованных ПЗРО непосредственно на территориях реабилитируемых центров, что связано, в том числе с тем, что транспортировка отходов на большие расстояния сама по себе нежелательна, ведь она ассоциируется с куда более высоким риском облучения как персонала, так и населения.

Сооружение ПЗРО на территории, где они образуются, получило наибольшее распространение для категории ОНРАО во многих странах.

В 2009 году МАГАТЭ выпустило стандарт безопасности GSG-1 «Классификация РАО» [33], в котором вводится классификация РАО в зависимости от предполагаемых способов захоронения. Указанный стандарт определяет классификацию РАО на основании международного опыта по обращению с различными классами РАО, в том числе и при их захоронении (проектирование, эксплуатация пунктов захоронения РАО и их закрытие). В стандарте впервые главным критерием при разбиении РАО на классы выступает способ захоронения, необходимый для надежной изоляции отходов от окружающей среды. В результате предложенного подхода, все РАО делятся на шесть классов отходов (в предыдущей версии стандарта было только четыре класса). Выделен отдельный класс

«очень низкоактивных радиоактивных отходов, которые не соответствуют критериям выведения из-под регулирующего контроля, но для которых не требуется высокой степени изоляции, захоронение таких отходов возможно в приповерхностных пунктах захоронения упрощенного типа» [33].

Типичным примером отходов данного класса является загрязненный грунт, строительные отходы, образующиеся при эксплуатации и во время ВЭ ядерно и радиационно опасных объектов, уровни активности которых, тем не менее, превышают уровни вывода из-под регулирующего контроля. Несмотря на то, что данный класс отходов требует регулирующего контроля, в отличие от НАО, САО и ВАО, он не требует высоких мер безопасности при захоронении. Достаточный уровень безопасности и экологической

приемлемости может быть достигнут при захоронении ОНРАО в приповерхностных пунктах захоронения типа полигона захоронения промышленных отходов. Данная практика захоронения широко применяется для размещения отходов, образующихся при добыче полезных ископаемых. Во многих странах уже используются такие сооружения для захоронения ОНРАО, образующихся при использовании ядерных установок, они бывают различными по конструкции, но все без исключения требуют пассивного и активного ведомственного контроля на сравнительно короткий период времени, во многих странах этот период не превышает срока порядка 100 лет.

Классификация РАО с включением в нее класса ОНРАО эффективно используется во Франции, Великобритании, Испании, Швеции и ряде других стран. При этом отсутствуют единые критерии отнесения к категории ОНРАО – каждая страна устанавливает их в соответствии с национальными стандартами в области обеспечения радиационной безопасности (Таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Критерии отнесения к ОНРАО в разных странах

Страна	Критерии отнесения к ОНРАО
Франция	менее 10^5 Бк/кг
Великобритания	$4 \cdot 10^2 \div 4 \cdot 10^5$ Бк/кг для β , γ - изл., $4 \cdot 10^2 \div 4 \cdot 10^3$ Бк/кг для α -изл.
Испания	менее 10^5 Бк/кг
Швеция	<ul style="list-style-type: none"> • Полное содержание активности не должно превышать 100 ГБк (200 ГБк для расширения полигона Oskarshamn, включая не более 20 ГБк ^{137}Cs). • Концентрация активности в контейнерах с отходами не должна превышать $3 \cdot 10^5$ Бк/кг для нуклидов с периодом полураспада более 5 лет. • Мощность дозы на поверхности контейнера не должна превышать 0,5 мЗв/ч.

При установлении критериев отнесения к ОНРАО различные страны руководствуются в том числе и выбранной стратегией обращения с отходами данного класса. Следует принять во внимание, что критерии приемлемости отходов для захоронения индивидуальны для каждого типа хранилищ РАО и обосновываются при подтверждении безопасности хранилища РАО. Критерии приемлемости РАО должны устанавливаться эксплуатирующей организацией и утверждаться уполномоченным органом.

В Швеции был сделан выбор в пользу создания локальных пунктов захоронения ОНРАО: на всех атомных электростанциях, а также в центре ядерных исследований в Studsvik созданы полигоны захоронения таких отходов, за исключением Barsebäck. Площадка данной АЭС была признана неподходящей для размещения РАО. Таким образом, на Barsebäck приходится обращаться с ОНРАО как с НАО, т.е. отправлять после переработки на централизованное захоронение НАО и САО SFR. На сегодняшний день в пунктах захоронения ОНРАО в Швеции размещено более 19 000 м³ отходов. При этом захоронение производится компаниями раз в 3–5 лет. Первый ПЗРО был построен в 1986 году в Oskarshamn, позднее были введены в эксплуатацию полигоны захоронения ОНРАО на территориях АЭС Forsmark, Ringhals [34]. Другие страны, например, Великобритания, Франция, Испания сделали выбор в пользу централизованной площадки размещения ОНРАО на захоронение. Выбор в пользу того или другого варианта организации захоронения ОНРАО основывается на разных факторах. В пользу локального ПЗРО можно отнести: отсутствие затрат и рисков, связанных с транспортировкой отходов в централизованное хранилище (а это очень существенный фактор при больших расстояниях между отдельными объектами), отсутствие негативной реакции общественности на перемещение отходов за территорией площадки ОИАЭ, а также полный контроль производителя отходов за всем циклом обращения с отходами от их образования до захоронения. Соответственно, в пользу централизованного пункта захоронения ОНРАО можно отнести: возможность непрерывной эксплуатации пункта захоронения ввиду больших объемов поступления, включая поступление от производителей малых объемов отходов.

При выборе площадки для захоронения ОНРАО, а также при обосновании барьеров безопасности, во всех случаях учитывались гидрогеологические характеристики площадки, а также обосновывалась безопасность пунктов захоронения как во время эксплуатации, так и после их закрытия, в соответствии с международными рекомендациями.

Во Франции, как уже упоминалось выше, выбор был сделан в пользу централизованного пункта захоронения ОНРАО Morvilliers на участке с глинистой почвой с очень высокой удерживающей способностью. При выполнении работ по размещению РАО большое внимание уделяется обеспечению защиты от дождевой воды. Данный ПЗРО траншейного типа расположен выше уровня грунтовых вод, находится недалеко от пункта захоронения НАО и САО Centredel'Aube. Он был введен в эксплуатацию в 2003 году, рассчитан на прием 650 000 м³ отходов [35]. Более 50% поступающих на захоронение отходов представляют собой металлолом и изделия из пластика, 40% – инертные отходы (бетон, кирпич, щебень и др.) и 10% представляют собой «особые отходы», такие как ил или порошкообразные отходы (зола и др.). Перед захоронением отходы перерабатываются с целью снижения объема (прессование). Жидкие РАО отверждаются. Все ОНРАО упаковываются в большие мешки или металлические

бочки с целью безопасного их перемещения. При этом только 45% всех ОНРАО во Франции образуются на атомных электростанциях. После закрытия пункта захоронения будет проводиться ведомственный контроль в течение 30 лет.

Специалистами компании SKB International AB, ответственной за безопасное захоронение РАО в Швеции, были проведены оценки стоимости захоронения ОНРАО на полигонах, расположенных на территории АЭС в Швеции и в других странах. Оценки изложены в работе «Технические и экономические преимущества введения категории ОНРАО» [36]. Согласно проведенному анализу затрат на проектирование, лицензирование, закупку оборудования, материала и работ по строительству, а также эксплуатационные расходы и последующее закрытие пункта захоронения, стоимость захоронения 1 м³ ОНРАО составляет: от 200 € во Франции в Morvilliers (по результатам 4-х летней эксплуатации) до 540 € на втором полигоне на АЭС Forsmark.

В тоже время оценки по определению стоимости захоронения 1 м³ НАО и САО в объекте SFR в Швеции составляет 4500 €/м³, в Centre del'Aube во Франции – 2700 €/м³, в Великобритании в пункте захоронения в Drigg – около 3000 €/м³.

Многолетний опыт обращения с категорией ОНРАО в разных странах доказал практическую возможность обеспечения безопасного захоронения отходов, позволил накопить опыт проведения обоснований безопасного захоронения данного класса РАО, а также обосновал экономическую значимость обращения с данной категорией отходов отдельно от других.

Разработаны и сформированы отдельные рекомендации и требования в отношении обращения с РАО, образующихся в ходе добычи и переработки урановой руды. Перемещение хвостов на более благоприятную площадку (в том числе в централизованные ПЗРО) для захоронения не согласуется с необходимостью выбора оптимальной стратегии обращения с РАО, ввиду значительного радиологического и не радиологического воздействий [37]. В большинстве стран принят подход закрытия хвостохранилищ или, другими словами, захоронение РАО на месте.

Заключение к главе 1

Общие методологические подходы к решению об окончательной изоляции накопленных РАО в РАО образующихся в больших объемах низкой активности, адаптированные к формирующейся нормативно-правовой базе, регулирующей обращение с РАО в Российской Федерации, на момент начала работы над исследованием отсутствовали.

Разработка комплексного метода характеризуется высокой актуальностью и практической значимостью, так он может быть применен для:

1) обоснования отнесения РАО к особым (захоронение РАО на месте).

2) обоснования создания пунктов хранения (захоронения) ОНРАО на промышленных площадках организаций, эксплуатирующих особо ядерно и радиационно опасные объекты на примере АЭС.

Кроме этого, возможно применение комплексного метода для обоснования работ по реабилитации загрязненных территорий.

Проведенный анализ позволил определить основные факторы, влияющие на темпы развертывания и эффективность функционирования ЕГС РАО, в качестве которых определены минимизация объемов:

- извлеченных (с целью перезахоронения) накопленных РАО за счет обоснованного осуществления захоронения отходов в местах их размещения;
- транспортирования вновь образующихся РАО низкого уровня опасности.

Оба этих фактора должны быть минимизированы при безусловном обосновании и последующем исполнении требований безопасности и экологической приемлемости захоронения РАО в местах их нахождения и образования.

2 Общие предпосылки и подходы при разработке комплексного метода

2.1 Обоснование необходимости установления комплексного критерия для выбора безопасного и экологически приемлемого завершения жизненного цикла ПХРО

При системном рассмотрении полного жизненного цикла ОИАЭ становится понятно, что чем раньше определено конечное состояние объекта, тем более добротнее может быть проработан вопрос о его достижении, и тем более эффективно оно может быть практически реализовано. Как уже отмечалось, в подавляющем большинстве случаев при сооружении ПХРО этот вопрос не решался. Принятие решения о сооружении ПХРО или ПЗРО означает введение ограничений на место размещения, на конструкцию сооружения, на характеристики размещаемых РАО и их упаковок и на сроки эксплуатации объекта. Естественно, что для решения обратной задачи для существующего объекта, необходимо рассматривать те же обстоятельства:

- характеристики места размещения;
- свойства РАО и их упаковок;
- характеристики сооружения и надежности инженерных барьеров.

К характеристикам места размещения относятся, как принадлежность к отдельным территориальным зонам (согласно Градостроительному кодексу Российской Федерации [38]), так и характеристики вмещающих пород (грунты, коэффициенты фильтрации и т.д.).

К характеристикам свойств РАО и их упаковок относятся: удельная активность отдельных радионуклидов, общая активность, объем, масса, механическая прочность упаковки, тепловыделение упаковки и др.

К характеристикам сооружения и надежности инженерных барьеров относятся: срок службы барьеров безопасности, их текущее состояние и другие технические характеристики строительных конструкций, буферного материала, подстилающих и покрывающих экранов и т. д.

Проведенный в рамках разработки Дорожной карты [23] анализ типов ПХРО и характеристик накопленных в них РАО показал, что ни один из упрощенных критериев, связанных с технической конструкцией сооружения (тип ПХРО) и способом размещения РАО, не давал однозначного ответа на вопрос о необходимости извлечения РАО для дальнейшей переработки и захоронения в централизованных ПЗРО. И наоборот, ни один из упрощенных критериев не давал однозначного ответа на вопрос возможности оставления РАО в месте их нахождения. Даже проводимый на протяжении десятилетий мониторинг окружающей среды, в том числе подземных вод в районе расположения данных объектов, подтверждал только безопасность их хранения в прошлом. В то время как в случае оставления РАО в месте их нахождения, речь шла уже о будущем, причем далеком.

Критерии должны были затрагивать не только характеристики РАО и существующего сооружения, но и характеристики вмещающей геологической среды, вернее, её геомиграционные и геофильтрационные характеристики.

Понятно, что критерии должны были быть безусловными. Оставлять РАО на месте можно только в случае, если проведенные оценки затрат и рисков для варианта удаления РАО превышали затраты и риски для варианта захоронения РАО в месте их нахождения.

Важно было ответить на вопрос, насколько консервативными могли быть критерии. Для этого необходимо было составить представление об общем балансе потоков РАО.

Оценки, выполненные автором при разработке Дорожной карты [23], показывали, что при максимально оптимистичном подходе к пунктам хранения, извлечение РАО из которых технически невозможно или нецелесообразно, могут быть отнесены: «законсервированные подземные пункты хранения котлованного, бункерного и траншейного типа; хвостохранилища; водохранилища (водоемы накопители и водоемы-охладители), отвалы забалансовых руд, хвостохранилища, и некоторые другие – т.е. хранилища, извлечение отходов из которых по экспертным оценкам представляется чрезвычайно трудоемким» [23].

Данные ПХРО, отходы в которых получили обозначение «особые РАО», предлагалось поэтапно трансформировать в пункты захоронения (Рисунок 2.1). Разделение объектов размещения РАО позволит выработать и реализовать план постепенного перехода от длительного хранения РАО в большом количестве объектов к их захоронению.

Предполагалось, что «извлекаемые» отходы постепенного будут кондиционироваться и размещаться в пунктах временного хранения, отвечающих современным требованиям безопасности до захоронения. За счет данного процесса количество «старых» объектов будет постепенно сокращаться. Объекты размещения особых РАО постепенно будут переводиться в пункты захоронения на месте, которые также будут отвечать современным требованиям безопасности.



Рисунок 2.1 – Схема трансформации системы обращения с РАО [23]

Оценка возможности захоронения РАО в местах их нахождения в тот период осуществлялась на качественном уровне на основе имевшейся информации и с ориентацией на статьи законопроекта, определявшие критерии отнесения к особыми РАО. Последние в период 2008–2009 годов формулировались следующим образом: *«особые (не удаляемые) радиоактивные отходы – радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием и иные риски, а также затраты, связанные с их извлечением из ПХРО, последующим обращением и захоронением, превышают риски и затраты, связанные с их захоронением в месте нахождения»*. При этом предусматривалось, что более детальные критерии будут установлены федеральными нормами и правилами, а в рамках проведения работ по переводу данных объектов в пункты захоронения может потребоваться извлечение части наиболее опасных РАО.

В этих предположениях допускалось, что пунктами хранения особых РАО могут быть признаны: ПХРО на ряде АЭС (Белоярская АЭС, Курская АЭС, Смоленская АЭС, Нововоронежская АЭС, Билибинская АЭС, Калининская АЭС), а также на территории ОАО «НЗХК», ОАО «ППГХО», ОАО «ЧМЗ», ОАО «СХК», ОАО «ГМЗ», ФГУП «ПО «Маяк», ОАО «КЧХК», ОАО «ПО ЭХЗ», ОАО «УЭХК», ОАО «АЭХК», ОАО «МСЗ», ФГУП «ГХК», ОАО «ГНЦ НИИАР», ОАО «СМЗ», ФГУП «ГНЦ РФ – ФЭИ», а также на территории отдельных отделений ФГУП «РосРАО» (филиал Фокино ДальРАО, Свердловское отделение и др.) (Таблица 2.1). Отдельно рассматривались объекты ФГУП «РосРАО» (бывшие Спецкомбинаты «Радон»), т.к. предполагалось, что предприятие станет «национальным оператором».

Таблица 2.1 – Объемы «особых РАО», а также РАО, размещенных на территории бывших Спецкомбинатов «Радон» на конец 2007 г. [23]

Агрегатное состояние	Категория	Объем, м ³ / масса, тонн
Особые РАО (захораниваемые на месте их размещения)		
ЖРО	САО	1,30·10 ⁷ /-
ЖРО	НАО	4,61·10 ⁸ /-
Всего ЖРО		4,74E+0 ⁸ /-
ТРО	САО	-/9,20·10 ⁵
ТРО	НАО	-/7,48·10 ⁷
Всего ТРО		-/7,57·10 ⁷
РАО, размещенные на территории бывших Спецкомбинатов «Радон»		
ЖРО	САО	1,94·10 ³ /-
ЖРО	НАО	3,71·10 ³ /-
Всего ЖРО		5,65·10 ³ /-
Всего ТРО	ВАО	-/1,40·10 ⁴
Всего ТРО	САО	-/1,97·10 ⁵
Всего ТРО	НАО	-/8,27·10 ⁴
Всего ТРО		-/2,93·10 ⁵

В целом допускалось отнесение к особым РАО 99,96% всех накопленных ЖРО и 99,10% всех накопленных ТРО. Это должно было позволить провести работы по консервации пунктов хранения особых РАО и удалению накопленных РАО в исторически обозримый срок. В рамках ФПЦ ЯРБ [22] как раз были начаты работы по консервации ряда ПХРО из потенциальных пунктов хранения «особых РАО». Таким образом, отнесение РАО к особым, позволяло выполнить требования законопроекта о захоронении всех РАО и реализовать основные принципы радиационной защиты.

В отношении вновь образующихся РАО Дорожной картой предусматривалась модернизация существующей системы категоризации РАО для целей их захоронения. Поэтому при определении размеров платежей допускалось, что не должны учитываться:

- РАО, образующиеся на ряде регулярных производителей, имеющих право осуществлять мероприятия по окончательной изоляции РАО на территории промышленной площадки;
- ОНРАО и РАО, образующиеся при добыче и переработке урановых руд, которые, как предполагалось, будут размещаться без участия национального оператора.

Относительно категории ОНРАО – отходов, которые могут быть захоронены на территории предприятий, предусматривалось, что главным критерием должна являться не столько их активность, сколько период потенциальной опасности (Рисунок 2.2). С точки зрения обеспечения безопасности учитывался накопленный в мире большой опыт захоронения данных отходов в поверхностных пунктах захоронения на территориях предприятий, который будет рассмотрен ниже. Экономическая целесообразность введения данной категории, с учетом высоких затрат на транспортировку и захоронение в пунктах, предназначенных для НАО и САО, также была очевидна.

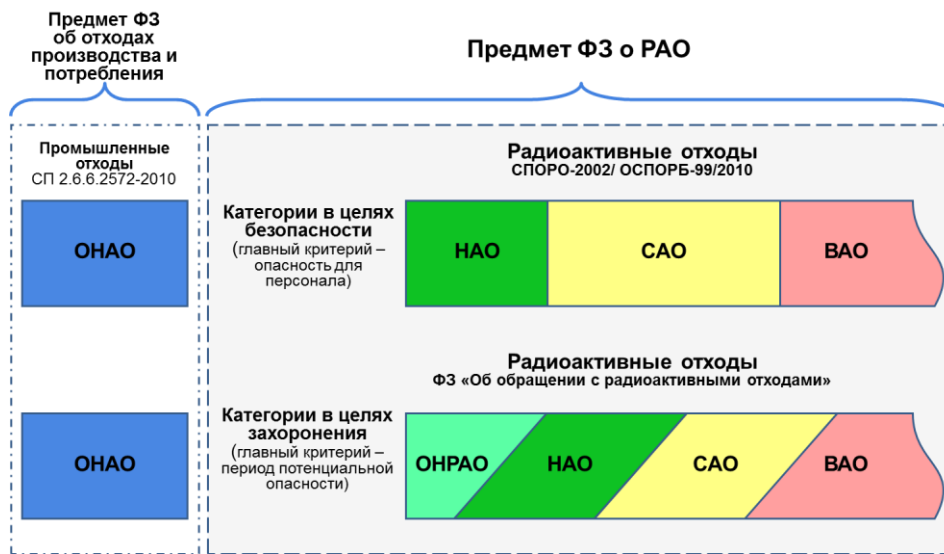


Рисунок 2.2 – Планируемая система категоризации и классификации РАО и промотходов [21]

С учетом сформированных в тот период представлений о тарифах на захоронение РАО, а также объема накопленных и ежегодно образующихся РАО, обязательными условиями создания и эффективного функционирования ЕГС РАО были определены:

- разделение РАО на особые и удаляемые;
- введение категории ОНРАО, а также отдельной категории отходов, образующихся при добыче и переработке урановых руд, как вновь образующихся отходов, которые будут захоронены на промышленных площадках организаций.

Только в этом случае становилась возможной концентрация усилий на захоронении ограниченных объемов РАО (Таблица 2.2) с высокими уровнями и длительными периодами потенциальной опасности.

Таблица 2.2 – Прогнозные объемы поступления РАО на пункты захоронения национального оператора [23]

Поток	Объемы в год, тыс. м ³		к 2025 г., тыс. м ³	
	ТРО	ЖРО	ТРО	ЖРО
Эксплуатируемые объекты	15	13	200	220
Накопленные (на предприятиях гражданского сектора)	10*	6*	150	90
ВЭ ОИАЭ	3–5*		30–50	
Утилизация АПЛ	4	4	130	(75)
«Военные» РАО*	3	3	30	30
Итого	30–35	26	440–465	415

* – «сформируется к 2015 г.»

Еще раз обратим внимание на следующее. Даже при чрезвычайно высоком уровне отнесения к особым РАО (речь идет 99,96% всех накопленных ЖРО и 99,10% всех накопленных ТРО), планируемая нагрузка на систему захоронения оказывалась очень высокой – почти 0,5 млн м³ РАО в период до 2025 года, с учетом отсутствия мощностей по приведению РАО критериям приемлемости и контейнеризации, а также необходимости строительства ПЗРО и транспортировки РАО. Естественным следствием из этого факта являлись условия:

- отсутствия избыточности и дублирования требований;
- минимальной консервативности.

По указанным причинам задача разработки методов комплексного обоснования безопасности и экологической приемлемости преобразования ПХРО накопленных РАО в пункты консервации, а затем и пункты захоронения и создания пунктов захоронения отдельных видов на территориях промышленной площадки также оценивалась как чрезвычайно актуальная и практически значимая. Однако её прямое решение сдерживалось отсутствием необходимой нормативно-правовой базы. В этих условиях основные усилия автора были направлены на расширение доказательной базы введения категории ОНРАО [39].

В качестве характерного примера была выбрана задача обращения с РАО, образующимися при ВЭ энергоблоков АЭС. По оценкам Росэнергоатома [40] при ВЭ одного энергоблока с реактором ВВЭР-440 только РАО в виде бетона будет образовано около 9 000 тонн.

Для оценки величины эффекта введения категории ОНРАО был проведен комплекс расчетов. В качестве исходных данных взяты материалы работы [41], в которой выполнены расчеты пространственных распределений удельной активности радионуклидов в бетонных

элементах конструкций энергоблока реактора ВВЭР-440, образующихся в результате активации конструкционных материалов. Основной вклад в величину полной наведенной активности бетонных материалов ВВЭР-440 вносят радионуклиды: Fe-55 ($T_{1/2} = 2,7$ лет) и Co-60 ($T_{1/2} = 5,27$ лет).

Расчет затрат на захоронение РАО различных классов осуществлялся на основе представлений о будущих тарифах, приведенных в проекте отраслевой методики, разработанной специалистами ФГУП «РосРАО». Стоимость захоронения ОНРАО и класса НАО, согласно данной методике, отличается примерно в 10 раз. В расчетах не учитывались затраты на кондиционирование РАО и их транспортировку к месту захоронения.

Сравнивалось 7 возможных вариантов отнесения к ОНРАО, для сравнения также использовались в расчетах классификации, принятые в Великобритании и Франции (Рисунок 2.3). В зависимости от выбранного варианта классификации затраты на захоронение РАО сильно варьировались.

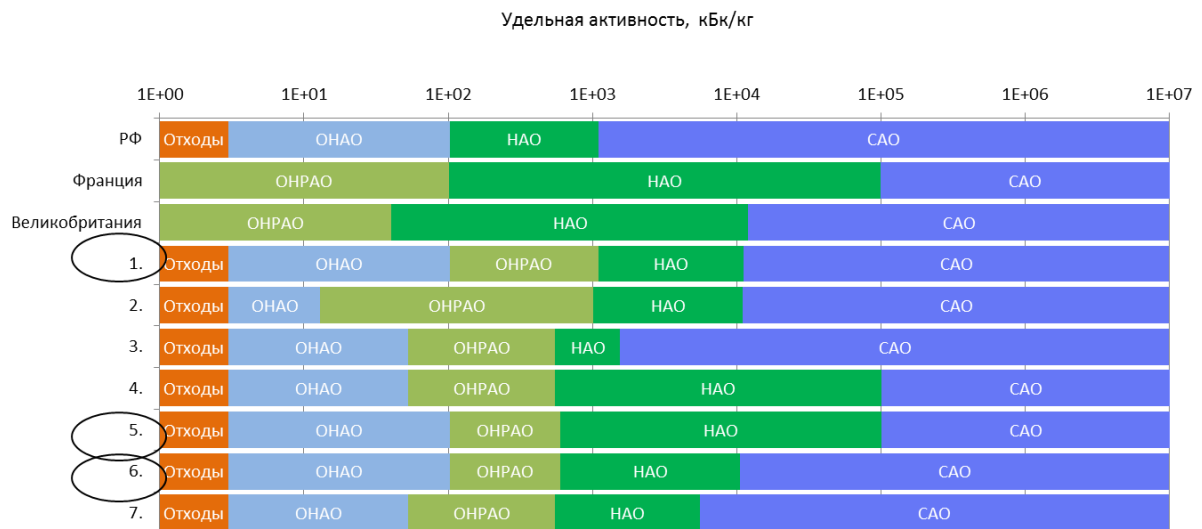


Рисунок 2.3 – Варианты классификации РАО в целях захоронения [39]

Верхняя граница отнесения к классу НАО в некоторых рассмотренных вариантах классификации тоже была смещена, это связано с тем, что для целей захоронения, как уже упоминалось выше, важен срок потенциальной опасности РАО. А это означает, что, в некоторых случаях, к ОНРАО можно будет отнести и отходы, которые по удельной активности на сегодня относятся к категориям НАО и даже САО.

При использовании первого, пятого или шестого вариантов классификации затраты на захоронение снижаются на 30% (Рисунок 2.4). Во всех рассмотренных вариантах под категорию ОНРАО подпадают РАО со сроком потенциальной опасности менее 30 лет.

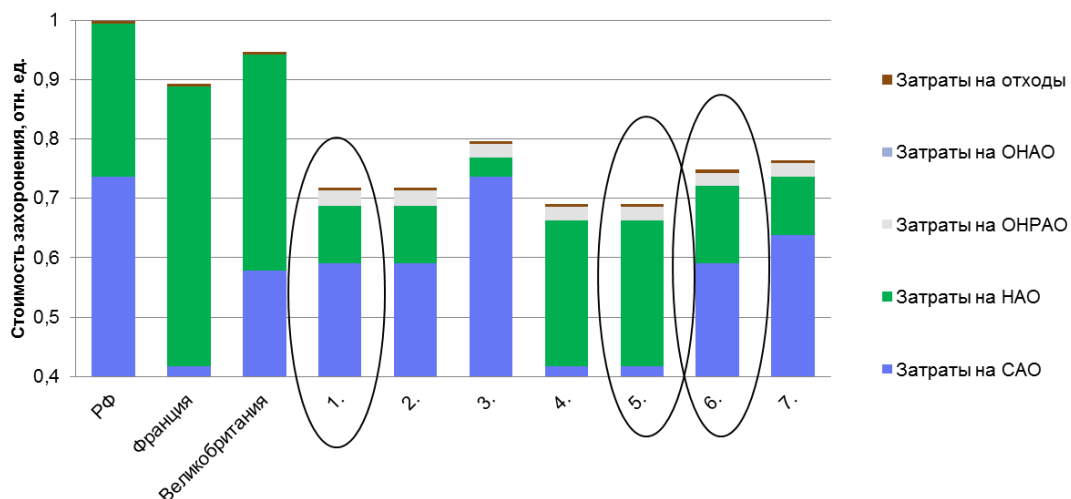


Рисунок 2.4 – Затраты на захоронения отходов для разных вариантов классификации РАО [39]

Полученные данные показали, что введение дополнительной классификации РАО, окажет существенное влияние на экономическую эффективность обращения с РАО. Даже на обращение с загрязненным бетоном, образующимся при ВЭ одного энергоблока, возможно снизить затраты на 30% только на захоронение, даже без учета затрат на упаковку отходов и их транспортировку к централизованному пункту захоронения РАО. В данной работе также отмечалось, что действовавшая ранее система категорирования РАО: на НАО, САО, ВАО, была разработана в целях защиты персонала при обращении с РАО и не эффективна для применения в целях захоронения РАО. Возможность обращения с ОНРАО на территории, где они образуются, без перемещения на большие расстояния, позволит снизить риски, связанные с транспортировкой и обращением с упаковками, а также дозы облучения персонала, в том числе за счет уменьшения количества операций по обращению с большими объемами РАО.

2.2 Общие подходы комплексного метода

Формулирование общих подходов начнем с анализа фундаментальных принципов радиационной защиты. МКРЗ в качестве таковых признано три: обоснование, оптимизация и нормирование. Разъяснения данных принципов, два из которых ориентированы на источник радиационной опасности, а один на человека, сопровождают все базовые публикации [42–43], в том числе и последнюю [44], в которой они рекомендуются к применению ко всем ситуациям планируемого облучения.

Эти базовые принципы формулируются следующим образом:

- обоснование – «любое решение, изменяющее ситуацию облучения, должно приносить больше пользы, чем вреда»;

- оптимизация защиты – «вероятность облучения, число облученных лиц и величина индивидуальных доз должны быть удержаны на таком низком уровне, насколько это разумно достижимо с учетом социально-экономических факторов»;
- нормирование – «суммарная доза любого индивидуума от регулируемых источников в ситуациях планируемого облучения (кроме медицинского облучения пациентов) не должна превышать соответствующие пределы дозы, рекомендованные Комиссией» [44].

В нашем случае объектом исследования является источник – ПХРО. Поэтому сосредоточимся на применении двух первых принципов, а третий – нормирования, будем рассматривать как обязательное условие осуществления деятельности в отношении этого источника.

Кратко рассмотрим содержание этих принципов в их применении к ПХРО, находящемуся в «условно безопасном» состоянии. Это означает, что пределы доз облучения (квоты предела дозы) персонала и населения в полной мере выполняются в настоящее время и в среднесрочной перспективе.

В контексте долгосрочного обеспечения безопасности и экологической приемлемости можно выделить несколько вариантов действий в отношении объекта:

- (1) Не осуществлять работ по консервации ПХРО или удалению РАО, то есть поддерживать объект в безопасном состоянии в течение продолжительного промежутка времени и не рассматривать вопрос о конечном состоянии (отложенное решение);
- (2) Извлечь РАО с последующей их переработкой и захоронением в централизованном ПЗРО, осуществить ВЭ объекта и реабилитацию территории;
- (3) Осуществить консервацию (создать дополнительные барьеры безопасности или реконструировать существующие) ПХРО с намерением захоронения РАО в месте нахождения.

Применительно к стадии выбора варианта дальнейших действий в отношении существующего объекта необходимо остановиться на том, при котором *«любое решение, изменяющее ситуацию облучения, должно приносить больше пользы, чем вреда»*. Можно допустить, что в оценку «вреда» и «пользы» в общем виде следует включать:

- финансовые затраты на подготовку и проведение работ, или их перенос на отдаленные периоды;
- ежегодные затраты на эксплуатацию ПХРО, мониторинг и иные издержки, связанные с существованием объекта, в том числе издержки, связанные с невозможностью ведения хозяйственной деятельности на прилегающей к

объекту территории, которые в общем виде должны охватывать весь период потенциальной опасности;

- риски и вред, связанные с загрязнением окружающей среды вследствие разрушения барьеров безопасности, и облучением населения;
- дополнительные дозы облучения персонала объекта при проведении работ на объекте;
- риски дополнительного облучения персонала и населения вследствие аварий при проведении работ.

В общем виде необходимо, чтобы выгода от планируемых работ (B) превышала вред (C):

$$B - C > 0. \quad (1)$$

Отметим, что подобный подход зачастую используется и в оценке целесообразности природоохранных мероприятий [45]. Применение подхода к первому варианту работ (отложенное решение) приводит к тому, что при принятии решения основными факторами становятся следующие:

- период потенциальной опасности РАО;
- срок службы барьеров безопасности;
- ценность земельного участка, занимаемого ПХРО и планы по его эксплуатации.

Вариант длительного периода потенциальной опасности РАО и высокой инвестиционной привлекательности занимаемого ПХРО земельного участка заведомо предопределяет целесообразность более углубленного рассмотрения необходимости проведения работ на объекте. И наоборот, вариант короткого периода потенциальной опасности и соответствующего ему срока службы барьеров безопасности определяет целесообразность рассмотрения варианта отказа от проведения работ. Отложенное решение заведомо предполагает, что инвестиционная привлекательность земельного участка низка и останется такой на неопределенный срок. Основными факторами становятся:

- соотношение стоимости работ по поддержанию барьеров безопасности в приемлемом состоянии и работ по консервации с целью последующего захоронения или по удалению отходов;
- радионуклидный состав и период потенциальной опасности РАО. Если доля короткоживущих радионуклидов велика, то откладывание работ может привести к существенному снижению их стоимости в будущем.

При проведении оценок затрат необходимо учитывать изменение их стоимости со временем. В общем виде любое рассмотрение эффективности затрат на больших промежутках времени должно осуществляться с учетом инфляции и дисконтирования. Для выполнения уравнения (1) требуется, чтобы следующее соотношение было больше 1:

$$\frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} > 1, \quad (2)$$

где B_t – выгода от планируемых работ при выполнении в период t ;

C_t – вред от планируемых работ при выполнении в период t ;

r – коэффициент дисконтирования;

t – период времени.

Возможность выявления заведомо привлекательных вариантов отказа от проведения работ (навсегда или на ограниченный промежуток времени) в целом в радиационной защите существует, но в случае, если речь идет о ПХРО накопленных РАО, вероятность этого исключена. Длительные периоды хранения отходов обусловили распад короткоживущих радионуклидов, дальнейшая выдержка не приведет к значительным снижениям затрат ВЭ, а только приведет к ежегодным затратам на поддержание объектов в безопасном состоянии.

При положительном решении о необходимости проведения работ задача сводится к выбору одной из двух базовых стратегий – варианта 2 или 3.

Решение должно основываться на принципе оптимизации, который определяет что: *«вероятность облучения, число облученных лиц и величина индивидуальных доз должны быть удержаны на таком низком уровне, насколько это разумно достижимо с учетом социально-экономических факторов»*.

При выборе одного из двух вариантов необходимо учитывать не только затраты при выполнении работ, облучение персонала и населения, а также риски, связанные с проведением работ. Обоснованность решения может быть доказана, если чистая польза положительная величина. В рассматриваемой ситуации, когда объект облучения существует, принцип обоснования необходим для принятия решения *«о том, следует ли предпринимать меры для того, чтобы предотвратить дальнейшее облучение»*, если следует, выбрать какие именно.

Реализация работ по варианту 2 или 3 направлена на решение следующих задач:

- снижение или полное прекращение затрат на мониторинг и эксплуатацию объекта;
- снижение или исключение облучения персонала и населения;
- реабилитация загрязненных территорий;
- снижение или исключение рисков, связанных с эксплуатацией объекта.

К выгодам от реализации работ по варианту 2 также можно отнести выгоду от возвращения земель в хозяйственную деятельность, в случае, если они имеют инвестиционную привлекательность. Таким образом, довольно проблематично выбрать вариант обращения с РАО, размещенными в ПХРО, основываясь только на анализе выгоды от реализации работ, т.к.

они имеют единые цели: решение о варианте конечной характеристики жизненного цикла ПХРО.

В отношении социальных или экологических проектов, когда ясно конечное состояние и сложно определить прибыль от осуществления проекта, но требуется принять вариант, который бы минимизировал затраты, связанные с достижением поставленной цели, выгодной обществу, выбирается проект, который удовлетворяет следующему условию [45]

$$C + K \rightarrow \min, \quad (3)$$

где K – капитальные затраты;

C – ежегодные затраты за весь срок до окончания выполнения проекта.

С учетом перечисленных выше факторов в общем виде формула (3) выглядит следующим образом

$$(S + R + Z) \cdot t + ((S' + R') \cdot t + K) + I \cdot T + \dots \rightarrow \min, \quad (4)$$

где первое слагаемое учитывает коллективные дозы персонала и населения ($S=S_p+S_n$), риски дополнительного облучения персонала и населения ($R=R_p+R_n$), а также ежегодные затраты (Z), связанные с ежегодным обслуживанием объекта за время до окончания работ по выбранному варианту проведения работ (t);

второе слагаемое учитывает ежегодные коллективные дозы персонала и населения ($S'=S'_p+S'_n$), риски дополнительного облучения персонала и населения ($R'=R'_p+R'_n$), связанные с проведением работ по выбранному варианту проведения работ, а также их стоимость (K);

третье слагаемое учитывает упущенную ежегодную выгоду от использования участка земли (I), занимаемого ПХРО, причем в случае варианта удаления РАО, значение T может быть равно t (при выборе варианта консервации значение T консервативно приравнивается к периоду потенциальной опасности РАО);

четвертое слагаемое учитывает другие потери, связанные с выполнением работ.

Необходимо отметить, что данное уравнение не учитывает вклад каждой величины в итоговое значение, кроме этого, данный подход приводит к тому, что необходимо перевести значения коллективной эффективной дозы облучения и рисков в денежный эквивалент. В п. 2.2 НРБ указывается, что «облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу», величина денежного эквивалента которого устанавливается «в размере не менее 1 годового душевого национального дохода» (годовой душевный национальный доход в 2012 г. – около 12,7 тыс. долл. США или около 400 тыс. руб. [46]). С учетом низкой стоимости 1 чел.-Зв и высокой стоимости работ по обращению с РАО, суммирование коллективных доз и финансовых затрат может привести к ситуации, при которой будет выбран наименее дешевый вариант проведения работ, но приводящий к максимальным дозам персонала.

Для равноценного учета всех факторов, обосновывающих безопасность и экологическую приемлемость, требуется решить систему уравнений, и выбрать вариант, при котором будут минимальные значения:

- коллективных эффективных доз облучения персонала, связанных с обслуживанием объекта (S_p) до окончания работ по выбранному варианту (t) и связанных с проведением работ по выбранному варианту (S_p')

$$S_p \cdot t + S_p' \cdot t \rightarrow \min, \quad (5)$$

- коллективных эффективных доз облучения населения, связанных с обслуживанием объекта (S_n) до окончания работ по выбранному варианту (t) и связанные с проведением работ по выбранному варианту (S_n')

$$S_n \cdot t + S_n' \cdot t \rightarrow \min, \quad (6)$$

- рисков дополнительного облучения персонала, связанных с обслуживанием объекта (R_p) до окончания работ по выбранному варианту (t) и связанных с проведением работ по выбранному варианту (R_p')

$$R_p \cdot t + R_p' \cdot t \rightarrow \min, \quad (7)$$

- рисков дополнительного облучения населения, связанных с обслуживанием объекта (R_n) до окончания работ по выбранному варианту (t) и связанных с проведением работ по выбранному варианту (R_n')

$$R_n \cdot t + R_n' \cdot t \rightarrow \min, \quad (8)$$

- затрат, в том числе ежегодных затрат на обслуживание объекта (Z) до завершения работ и на проведение самих работ (K), с учетом упущенной выгоды от использования земельного участка (I), за весь период потенциальной опасности РАО (T) (для варианта удаления РАО $T=t$)

$$Z \cdot t + K + I \cdot T \rightarrow \min. \quad (9)$$

Таким образом, в общем виде решение о выборе окончательного варианта завершающей стадии жизненного цикла пункта захоронения могло бы приниматься путем решения системы уравнений, учитывающих финансовые затраты, коллективные эффективные дозы населения и персонала, а также последствия возможных аварий. С учетом неопределенностей, присущих многим из рассматриваемых величин, решение данной задачи требует введения дополнительных ограничений на значения, чтобы исключить несущественные дозы и риски и проводить оценки по укрупненным этапам работ.

Возвращаясь к принципам МКРЗ, отметим, что после обоснования решения по дальнейшему варианту действий в отношении ПХРО проводится процесс оптимизации, который должен использоваться при планировании защитных мероприятий и установлении

уровня защиты. Данный процесс направлен на снижение облучения в будущем и должен учитывать технические и социально-экономические достижения.

Указание на учет социально-экономических факторов означает, что при выборе варианта также должны быть рассмотрены вопросы адекватности затрат и снижения вероятности облучения, числа облученных и т. д., и при этом не будут превышены граничные значения доз и рисков индивидуумов за счет облучения от ПХРО. Кроме этого, планируемые работы должны быть возможны и оправданы с позиции социальной выгоды, приносить индивидуальную или общественную пользу, значительно превышающую наносимый вред.

Согласно принципу оптимизации, защита обеспечивается за счет тщательной балансировки вреда от облучения и ресурсов, необходимых для защиты. Основным параметром оптимизации является коллективная эффективная доза облучения. В соответствии с рекомендациями МКРЗ данный параметр зачастую может привести к ошибочным выводам при суммировании очень низких индивидуальных доз за длительные промежутки времени для жителей обширных географических регионов, поэтому следует провести анализ распределения облучения в соответствующей популяции для конкретных обстоятельств, установить диапазоны суммируемых доз и периода времени. В общем виде коллективная эффективная доза, состоящая из суммы индивидуальных эффективных доз в диапазоне E_1 до E_2 , может быть определена как [44]

$$S(E_1; E_2; \Delta T) = \int_{E_1}^{E_2} E \left(\frac{dN}{dE} \right)_{\Delta T} dE, \quad (10)$$

где $\left(\frac{dN}{dE} \right) dE$ – число индивидуумов, которые облучаются в эффективной дозе от E до $(E+dE)$ за период времени ΔT . Для ситуаций планируемого облучения от захоронения РАО в качестве E_2 может выступать рекомендованное МКРЗ значение граничной дозы облучения населения – 0,3 мЗв/год. В России E_2 должно быть ниже 0,1 мЗв/год на этапах обращения с РАО, и ниже 0,01 мЗв/год после захоронения РАО [16]. В тоже время нормы радиационной безопасности [15] «не распространяются на источники излучения, создающие при любых условиях обращения с ними индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв...». Необходимо отметить, что большинство ПХРО на сегодняшний день не создают дополнительную дозу на население за счет их размещения внутри СЗЗ, т.к. несанкционированное нахождение людей на теле ПХРО исключается.

В ситуациях планируемого облучения, к которым относится и решение о выборе завершающей стадии жизненного цикла облучения, необходимо добиться неперевышения граничных уровней индивидуальных доз облучения, установленных законодательством. При планировании захоронения РАО МКРЗ рекомендует также рассматривать облучение население в далеком будущем, связанное с миграцией радионуклидов. При этом отмечается, что оценки

таких доз не следует рассматривать как меру радиационного вреда, они являются индикаторами защиты, что объясняется высокими неопределенностями при проведении прогнозов данных доз.

При принятии решения также следует учитывать и возникновение потенциального облучения в результате аварий при выполнении отдельных работ. Аварии могут привести не только к облучению лиц, участвующих в проведении работ, но также и к облучению населения и загрязнению окружающей среды. Оптимизация защиты на этапе планирования работ может значительно снизить вероятность и тяжесть таких аварий. Комиссией МКРЗ рекомендованы величины обобщенных граничных рисков для персонала – $2 \cdot 10^{-4}$ в год, для населения – 10^{-5} в год, данная рекомендация принята в НРБ-09/2009 [15].

Таким образом, углубленный анализ трех базовых принципов радиационной защиты позволил определить, что в конкретных условиях и временных ограничениях (первое массовое применение – 2014 год) применение комплексного метода целесообразно:

- ограничиться ориентацией на приоритетность принятия решений по отнесению РАО к особым на основе принципа обоснования;
- принцип оптимизации считать ориентиром для составления сценариев проведения работ, но полное решение задач оптимизации считать целесообразным на этапе проектирования;
- принцип нормирования активно использовать для исключения из сценариев этапов, работ и условий облучения ему не соответствующих.

В общем виде схема оценок и сравнений комплексного метода, основанного на базовых принципах радиационной защиты, предусматривала его применение на предпроектной стадии, при отнесении РАО к особым в процессе первичной регистрации РАО или в последующем после истечения сроков эксплуатации ПХРО, и включала 5 этапов (Рисунок 2.5)

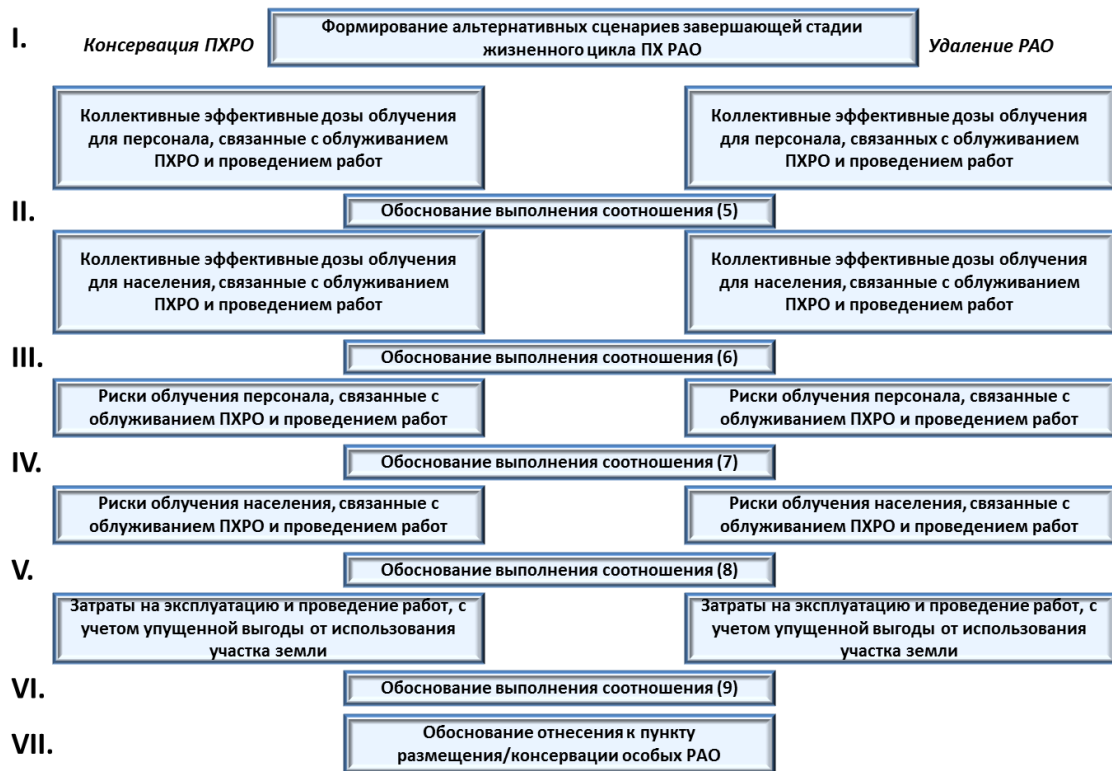


Рисунок 2.5 – Схема проведения комплексного обоснования отнесения РАО к особым РАО

При реализации каждого этапа планировалось опираться на практику обеспечения безопасности при использовании атомной энергии по всем близким компонентам: обеспечение радиационной безопасности персонала и населения в части учета соотношений между установленными дозовыми пределами и фактическими дозами, дозозатраты на отдельные операции, трудовые и финансовые затраты на отдельные операции; общие соотношения между стоимостью отдельных этапов работ и т.д.

Для обеспечения эффективности применения и доказательности предусматривалось в максимальной мере сформировать информационное обеспечение комплексного метода, достаточное для признания обоснований со стороны всех органов регулирования и, одновременно, его эффективное применение в эксплуатирующих организациях.

В качестве наиболее эффективной формы реализации комплексного метода для эксплуатирующих организаций была определена форма пошагового пособия с максимальным набором исходных данных и рекомендаций.

2.3 Формирование нормативно – правовых условий разработки комплексного метода

В период 2009–2011 годов в ходе рассмотрения в Федеральном Собрании Российской Федерации законопроект «Об обращении с РАО» претерпел значительные изменения. Но основные идеи, обоснованные в Дорожной карте, такие как разделение накопленных РАО на особые и удаляемые, а также положения, допускающие введение дополнительной классификации РАО в целях их захоронения, были сохранены.

В части особых РАО Федеральным законом от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с РАО и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [4] (далее - № 190-ФЗ) предусматривается:

- Определение основных понятий, в том числе понятий накопленных РАО, пунктов временного и долговременного хранения РАО, пунктов размещения и консервации особых РАО, ПЗРО (ст. 3).
- Разделение РАО на удаляемые и особые (ст. 4 № 190-ФЗ), полномочия Правительства Российской Федерации по определению критериев отнесения РАО к особым и удаляемым (часть 4 ст. 4), порядка и сроков проведения первичной регистрации (часть 4 ст. 23), а также утверждению перечней ПЗРО, пунктов долговременного хранения РАО, пунктов размещения и консервации особых РАО (часть 11 ст. 23).
- Закрепление в федеральной собственности права на накопленные РАО (ст. 9).
- Установление требований к обращению с накопленными РАО и ПХРО (ст. 24).

Таким образом, впервые нормативно определяются стадии жизненного цикла ПХРО, а также устанавливаются варианты завершающих стадий. Так для ПХРО удаляемых РАО определены следующие жизненные стадии: пункт долговременного хранения удаляемых РАО (отсутствуют порядок и меры по ВЭ), пункт временного хранения удаляемых РАО (разработаны порядок и меры по ВЭ), завершающей стадией жизненного цикла определено извлечение РАО из ПХРО и ВЭ.

Для пунктов хранения особых РАО также предусмотрены 3 стадии жизненного цикла: пункт размещения особых РАО (не установлен срок службы барьеров безопасности), пункт консервации особых РАО (установлен срок службы барьеров безопасности), завершающей стадией жизненного цикла является перевод в ПЗРО или снятие с регулирующего учета.

Отметим, что выделение категории особых РАО явилось стратегическим решением, учитывающим и специфику образования ядерного наследия и государственную ответственность в сфере обращения с РАО. Отнесение к особым РАО должно обеспечить для ряда объектов возможность реализации более эффективного способа окончательной изоляции

ранее накопленных РАО в месте их нахождения. Данное решение должно быть обосновано с позиций долгосрочной безопасности, а именно: безопасности на весь период потенциальной опасности РАО.

Федеральным законом значительная часть полномочий закреплена за Правительством Российской Федерации, в том числе в части, непосредственно связанной с задачами диссертационного исследования.

В июле 2012 года было принято постановление Правительства Российской Федерации «О проведении первичной регистрации РАО» [47], которым утверждены сроки проведения первичной регистрации (с 15 января 2013 г. по 31 декабря 2014 г. включительно), форма акта, правила, в том числе предусматривавшие создание комиссий. Ответственность за проведение первичной регистрации возложена на Госкорпорацию «Росатом» как орган государственного управления в области обращения с РАО.

Критерии отнесения РАО к особым были установлены несколько позже (постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2012 г. № 1069 [48]). Данные критерии отнесения РАО к особым не в полной мере соответствуют положениям № 190-ФЗ. Например, они были существенно сужены круг ПХРО, которые могут быть отнесены к пунктам хранения особых РАО. Так постановление исключает возможность отнесения к особым РАО, образовавшихся при эксплуатации АЭС, проведении научных исследований и других технологических процессах, если они образовались не в результате выполнения гособоронзаказа или аварии на ОИАЭ. Рассматриваемым постановлением вводятся ограничения и на место размещения ПХРО. Кроме этого, в постановлении вводятся новые термины без определений, как то: риск потенциального облучения, совокупный размер возможного вреда окружающей среде.

Возможные риски, связанные с проведением обоснований отнесения РАО к особым, рассмотрены в [21], к ним авторы относят: вопрос удаления РАО из объектов, в отношении которых данный вариант событий вообще никогда не рассматривался (объекты, образовавшиеся при проведении мирных ядерных взрывов, или водоем В-9), отсутствие нормативного раскрытия понятия совокупного размера возможного вреда окружающей среде в российском законодательстве, а также неопределенности, связанные с оценкой риска потенциального облучения.

Вопрос экологической приемлемости проведения работ на объекте должен основываться на выполнении основных положений Конституции Российской Федерации, согласно которыми каждый гражданин России:

- «имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии» (Статья 42);

- «обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам» (Статья 58).

На выполнение указанных положений направлен Федеральный закон [49], согласно требованиям которого, любая деятельность должна осуществляться на основе следующих принципов:

- «научно обоснованное сочетание экологических, экономических и социальных интересов человека, общества и государства в целях обеспечения устойчивого развития и благоприятной окружающей среды;
- учет природных и социально-экономических особенностей территорий при планировании и осуществлении хозяйственной и иной деятельности;
- приоритет сохранения естественных экологических систем, природных ландшафтов и природных комплексов;
- запрещение ... реализации проектов, которые могут привести к деградации естественных экологических систем, изменению и (или) уничтожению генетического фонда растений, животных и других организмов, истощению природных ресурсов и иным негативным изменениям окружающей среды».

При этом «вред окружающей среде – это негативное изменение окружающей среды в результате ее загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных ресурсов». Методик определения совокупного размера вреда окружающей среде в результате радиационного воздействия к 2012 г. не было разработано.

Указанные обстоятельства существенно усложнили и одновременно повысили актуальность разработки методического обеспечения отнесения РАО к особым РАО и установили достаточно жесткие сроки решения этой задачи. В начале 2013 года Госкорпорацией «Росатом» был издан приказ, который устанавливает «Порядок проведения первичной регистрации РАО и установления мест их размещения» [50], также был утвержден график обследований ПХРО. В связи с отсутствием методического обеспечения первичная регистрация в организациях, где возможно было отнесение РАО к особым, должна была пройти в период апрель – ноябрь 2014 года.

Актуальность и сложность решения задачи выработки подходов к обоснованию отнесения к особым РАО в полной мере проявилась летом 2013 года, после публикации, подготовленной с активным участием автора [51], в которой предлагалась упрощенная процедура обоснования в части проведения оценок затрат, рисков и доз. В частности, после составления и анализа сценариев обращения для варианта удаления РАО и захоронения РАО в месте их нахождения предлагалось исключить из рассмотрения следующие этапы:

- «проведение КИРО, разработка программы работ, разработка проекта, получение лицензии (исходя из того, что порядок обследования и разработка необходимой документации не зависят от концепции последующего обращения с РАО);
- эксплуатация ПХРО (обслуживание, поддержание безопасного состояния ПХ, радиационный контроль и т. д.) во время проведения работ по извлечению РАО из ПХРО и во время проведения работ по консервации пункта хранения особых РАО, так как считаем, что периоды этих работ совпадают для двух концепций обращения с РАО;
- реабилитация территории и обращение с вторичными РАО, образовавшимися после реабилитации (считаем, что риски и затраты на реабилитацию инвариантны для двух концепций обращения с РАО, так как выполняемые работы должны отвечать требованиям федеральных норм и правил);
- мониторинг централизованного пункта захоронения РАО и пункта консервации особых РАО после их закрытия приводит к сходным значениям коллективных эффективных доз и рисков потенциального облучения, так как к этим объектам применяются одинаковые регулирующие требования» [51].

Оставшиеся этапы работ, для которых предлагалось провести оценки коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения и затрат, представлены на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Сравнение этапов работ для двух концепций обращения с РАО [51]

В данной работе также был предложен упрощенный подход к проведению оценок рисков потенциального облучения для альтернативных вариантов обращения с РАО. Так предложено исключить из рассмотрения внешние риски (ураган, сейсмическое воздействие, наводнение и

т.д.) и риски, связанные с эксплуатацией и обслуживанием ПХРО, периоды проведения работ на объекте по двум концепциям обращения с РАО принимаются одинаковыми. Кроме этого, после проведенного анализа федеральных норм и правил принято допущение о возможности исключения из рассмотрения при проведении обоснования отнесения РАО к особым внешним и эксплуатационным рискам для централизованного пункта захоронения и пункта консервации РАО, т.к. предполагается, что после проведения всех работ данные объекты должны соответствовать единым требованиям федеральных норм и правил. В работе предложено проводить оценки рисков потенциального облучения, исходя из оценок коллективных эффективных доз облучения персонала на всех этапах работ, считая, что вероятность события равна единице. Ссылаясь на то, что обоснования отнесения РАО к особым проводятся в условиях отсутствия: разработанных проектов работ, выбранных технологий переработки и кондиционирования РАО, технологических решений по удалению РАО и зачастую по консервации ПХРО, а также опыта перевода пунктов консервации в пункты захоронения РАО, авторы предлагают учитывать риск потенциального облучения при авариях только для этапа транспортирования упаковок РАО к централизованному ПЗРО.

Оценку затрат и коллективных эффективных доз в случае отсутствия данных предложено проводить с учетом опыта работ, проводимых на предприятиях отрасли. В работе также предложен подход к проведению оценки совокупного размера возможного вреда окружающей среде, основанный на определении стоимости отчуждаемых под ПЗРО с его санитарно-защитной зоной (СЗЗ) земель в режиме нормальной эксплуатации ПХРО и возможного увеличения отчуждаемых площадей вследствие аварийных ситуаций. Оценка основывается на среднерыночной стоимости земель промышленного назначения в регионе расположения ПХРО. Объект уже существует, и вред окружающей среде, если он определен, уже нанесен его сооружением и эксплуатацией, дальнейшие работы на объекте будут направлены на ликвидацию данного вреда.

Таким образом, была начата работа по формированию оценок коллективных доз облучения, рисков потенциального облучения и затрат в рамках комплексного метода при проведении обоснований отнесения РАО к особым. Рассмотренный подход не нашел полной поддержки у всех специалистов заинтересованных ведомств, главным образом по требованиям полноты обоснования, например, в части доз облучения населения при проведении работ по захоронению РАО в месте их нахождения, в основном после закрытия ПЗРО.

В части ОНРАО № 190-ФЗ предусматривалось:

- Возможность установления отдельного класса ОНРАО (ст. 4 № 190-ФЗ). Отнесение к тому или иному классу РАО должно основываться на характеристиках отходов, таких как: агрегатное состояние, период потенциальной

опасности, удельная активность, содержание ядерных материалов т. д. При этом отдельно должны рассматриваться отработавшие закрытые радионуклидные источники; РАО, образовавшиеся при добыче и переработке урановых руд; РАО, образовавшиеся при осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов.

Упрощенные требования по захоронению ОНРАО и обращению с ними (часть 4 ст. 12, ст. 27). В частности, устанавливается, что организации, эксплуатирующие особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты и осуществляющие деятельность, в результате которой образуются ОНРАО, по решению Правительства Российской Федерации могут осуществлять захоронение указанных отходов в ПЗРО, которые размещены на используемых такими организациями земельных участках.

Следует отметить, что содержание части 1 ст. 27 позволяет допустить, что захоронение ОНРАО могут производить сами эксплуатирующие организации, поскольку только часть 2 данной статьи предусматривает иной режим обращения с ними, а именно их передачу национальному оператору.

Отметим, что положения статьи 27 находятся в определенном противоречии со статьями 34 и 40 рассматриваемого Федерального закона, которыми устанавливается монополия на захоронение РАО и обязательность передачи пункта захоронения национальному оператору.

Несмотря на это, задача обоснования возможности, в том числе более высокого уровня безопасности и существенно меньших затрат, захоронения ОНРАО непосредственно на площадках организаций остается актуальной и юридически решаемой. Например, посредством реализации норм, предусмотренных частью 1 ст. 12 и установления в соответствии с частью 7 ст. 18 сроков промежуточного хранения РАО на уровне срока их потенциальной опасности, например 30–50 лет вместо 10 лет, установленных приказом Госкорпорации «Росатом» от 7 июля 2014 г. № 1/24 – НПА «Об утверждении сроков промежуточного хранения РАО и объемов таких отходов для организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объемы». Решение Правительства Российской Федерации о размещении пунктов захоронения ОНРАО на территории в том числе выводимых из эксплуатации АЭС позволит существенно сократить затраты, а также риски, связанные с перемещением и транспортировкой больших объемов РАО по дорогам общего пользования до централизованных пунктов захоронения.

Заключение к главе 2

На основании анализа объемов накопленных РАО, типов ПХРО обоснована необходимость установления комплексного критерия для выбора безопасного и экологически приемлемого завершения жизненного цикла ПХРО. Проведена оценка объемов отходов, которые могут быть отнесены к «особым», т.е. РАО, которые будут захоронены в месте их нахождения.

В главе также приведено обоснование целесообразности введения категории ОНРАО, которые могут быть захоронены в месте образования. Исключение этапа транспортировки РАО позволит снизить радиационные риски, а также дозы облучения персонала, в том числе за счет уменьшения количества операций по обращению с большими объемами РАО.

Исследование было начато до принятия № 190-ФЗ и соответственно до утверждения Правительством Российской Федерации критериев отнесения РАО к особым и категорий РАО для целей их захоронения. На основании фундаментальных принципов радиационной защиты (обоснование, оптимизация и нормирование) сформулированы общие предпосылки и подходы комплексного метода. Комплексный метод направлен на обоснование выбора наиболее безопасного и наименее затратного (одного из двух) варианта обращения с РАО (ликвидация объекта или захоронение РАО на месте), при этом работы должны быть направлены на решение следующих задач:

- снижение или полное прекращение затрат на мониторинг и эксплуатацию объекта;
- снижение или исключение облучения персонала и населения;
- реабилитация загрязненных территорий;
- снижение или исключение рисков, связанных с эксплуатацией объекта.

3 Развитие комплексного метода с учетом принятых нормативно-правовых документов

В 2012 году постановлением [48] были утверждены критерии отнесения отходов к РАО, критерии классификации удаляемых РАО, а также критерии отнесения РАО к особым РАО. Утвержденные критерии потребовали существенного развития и уточнения общего подхода к комплексному методу, одновременно принципиально уточняя применение базовых принципов радиационной защиты.

Кратко рассмотрим эти нормативные особенности применения принципов обоснования и оптимизации, следствием которых явится удорожание стоимости обращения с РАО по двум главным направлениям.

Обращение с ОНРАО. Согласно критериям [48], удаляемые РАО разделены на 6 классов, в зависимости от уровня удельной активности и в очень общем виде от периода полураспада содержащихся радионуклидов. При этом категории ОНРАО и НАО объединены в класс 4 и подлежат захоронению в пунктах приповерхностного захоронения РАО, размещенных на одном уровне с поверхностью земли. С учетом единого тарифа на захоронение отходов класса 4 [52] можно прийти к выводу, что стимулы для глубокого разделения РАО на НАО и ОНРАО сведены к минимуму. Снижение затрат при обращении с категорией ОНРАО возможно не на этапе захоронения, как принято в мире, а только на этапе кондиционирования (статья 12 закона [4] допускает, что захоронение ОНРАО возможно без их кондиционирования). Тем не менее, изложенные ранее доводы в пользу введения и активного использования данной категории остаются справедливыми, и в будущем, по мере модернизации системы классификации и тарифов, могут быть учтены. Признаком этого стало утверждение перечня организаций, в результате осуществления деятельности которых по добыче и переработке урановых руд образуются РАО, и организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты и осуществляющих деятельность, в результате которой образуются ОНРАО, которые могут осуществлять захоронение указанных отходов в ПЗРО, размещенных на земельных участках, используемых такими организациями. В перечень также вошли АЭС, при ВЭ которых образуется большое количество ОНРАО (подраздел 2.1).

Отнесение накопленных РАО к особым РАО. Утвержденные критерии [48] вводят дополнительные к предусмотренным статьей ст. 26 [4] ограничения на происхождение РАО: к особым могут быть отнесены теперь только отходы, которые образовались в результате выполнения государственной программы вооружения, государственного оборонного заказа, использования ядерных зарядов в мирных целях, в результате ядерной или радиационной аварии на ОИАЭ, а также РАО, размещенные в водоемах-хранилищах объемом более 25 тыс. м³ и их донные отложения.

Критерий на происхождение РАО исключает возможность отнесения к особым РАО отходов, образовавшихся в результате нормальной эксплуатации ОИАЭ, в том числе на АЭС, размещенных в ПХРО бывших Спецкомбинатов «Радон», которые создавались именно как объекты окончательной изоляции РАО, и на территории которых к тому моменту было размещено свыше 500 тыс. м³ РАО (данные первичной регистрации РАО), а также РАО, образовавшихся в результате не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности.

Также вводится критерий на местоположение ПХРО: к особым РАО не могут быть отнесены отходы, размещенные внутри границ населенных пунктов, особо охраняемых природных территорий, прибрежных защитных полос и водоохранных зон водных объектов.

Содержание критериев [48] существенно конкретизировало процедуру оценки затрат и выгод. Ими предусмотрено рассмотрение следующих критериальных параметров и соотношений:

- 1) коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности РАО, связанная с удалением РАО, превышает коллективную эффективную дозу облучения за весь период потенциальной опасности, связанную с захоронением РАО в месте их нахождения;
- 2) риск потенциального облучения, связанный с удалением РАО, превышает риск потенциального облучения, связанный с захоронением РАО в месте их нахождения;
- 3) расходы, связанные с удалением РАО (включая расходы на их извлечение, переработку, кондиционирование, перевозку к пункту захоронения и захоронение), превышают совокупный размер возможного вреда окружающей среде и расходы в случае захоронения таких РАО в месте их нахождения (включая расходы на перевод ПХРО в ПЗРО, его эксплуатацию и закрытие, на обеспечение безопасности в течение всего периода потенциальной опасности РАО).

Таким образом, для обоснования отнесения РАО к особым должны выполняться следующие условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^M S_{i\text{перс.ОРАО}} < \sum_{n=1}^N S_{n\text{перс.УРАО}}, \quad (11) \\ \sum_{i=1}^M S_{i\text{нас.ОРАО}} + \sum_{t=0}^T S_{t\text{нас.ОРАО}} < \sum_{n=1}^N S_{n\text{нас.УРАО}} + \sum_{t=0}^T S_{t\text{нас.УРАО}}, \quad (12) \\ \sum_{i=1}^M R_{i\text{перс.ОРАО}}^* < \sum_{n=1}^N R_{n\text{перс.УРАО}}^*, \quad (13) \\ \sum_{i=1}^M R_{i\text{нас.ОРАО}}^* < \sum_{n=1}^N R_{n\text{нас.УРАО}}^*, \quad (14) \\ P_{\text{ОРАО}} + Y_{\text{ущерб}} < P_{\text{УРАО}}, \quad (15) \end{array} \right.$$

где $\sum_{i=1}^M S_{i\text{перс.ОРАО}}$ и $\sum_{n=1}^N S_{n\text{перс.УРАО}}$ – сумма коллективных эффективных доз облучения персонала, задействованного при проведении всех этапов, предусмотренных сценарием захоронения РАО в месте их нахождения и на всех этапах работ по удалению РАО, соответственно; $\sum_{i=1}^M S_{i\text{нас.ОРАО}}$ и $\sum_{n=1}^N S_{n\text{нас.УРАО}}$ – сумма коллективных эффективных доз облучения населения, связанных с проведением работ по захоронению РАО в месте их нахождения и удалением РАО, соответственно; $\sum_{t=0}^T S_{t\text{нас.ОРАО}}$ и $\sum_{t=0}^T S_{t\text{нас.УРАО}}$ – сумма годовых коллективных эффективных доз облучения населения, за весь период потенциальной опасности РАО (T), связанный с воздействием пункта захоронения, созданного в месте нахождения РАО, и централизованного пункта захоронения, соответственно; $\sum_{i=1}^M R_{i\text{перс.ОРАО}}^*$ и $\sum_{n=1}^N R_{n\text{перс.УРАО}}^*$ – суммы рисков потенциального облучения персонала при возможных аварийных ситуациях, приводящих к дополнительному облучению, при захоронении РАО в месте их нахождения и удалении РАО, соответственно; $\sum_{i=1}^M R_{i\text{нас.ОРАО}}^*$ и $\sum_{n=1}^N R_{n\text{нас.УРАО}}^*$ – соответствующие суммы рисков для населения; $P_{\text{ОРАО}}$ и $P_{\text{УРАО}}$ — расходы, связанные с захоронением РАО в месте их нахождения и удалением РАО, соответственно; $Y_{\text{ущерб}}$ — совокупный размер возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения.

С учетом утвержденных критериев была уточнена схема комплексного метода (Рисунок 3.1). При уточнении были детализированы предварительные стадии анализа и обоснования. Кроме этого реализация отдельных стадий приобрела итерационную форму.

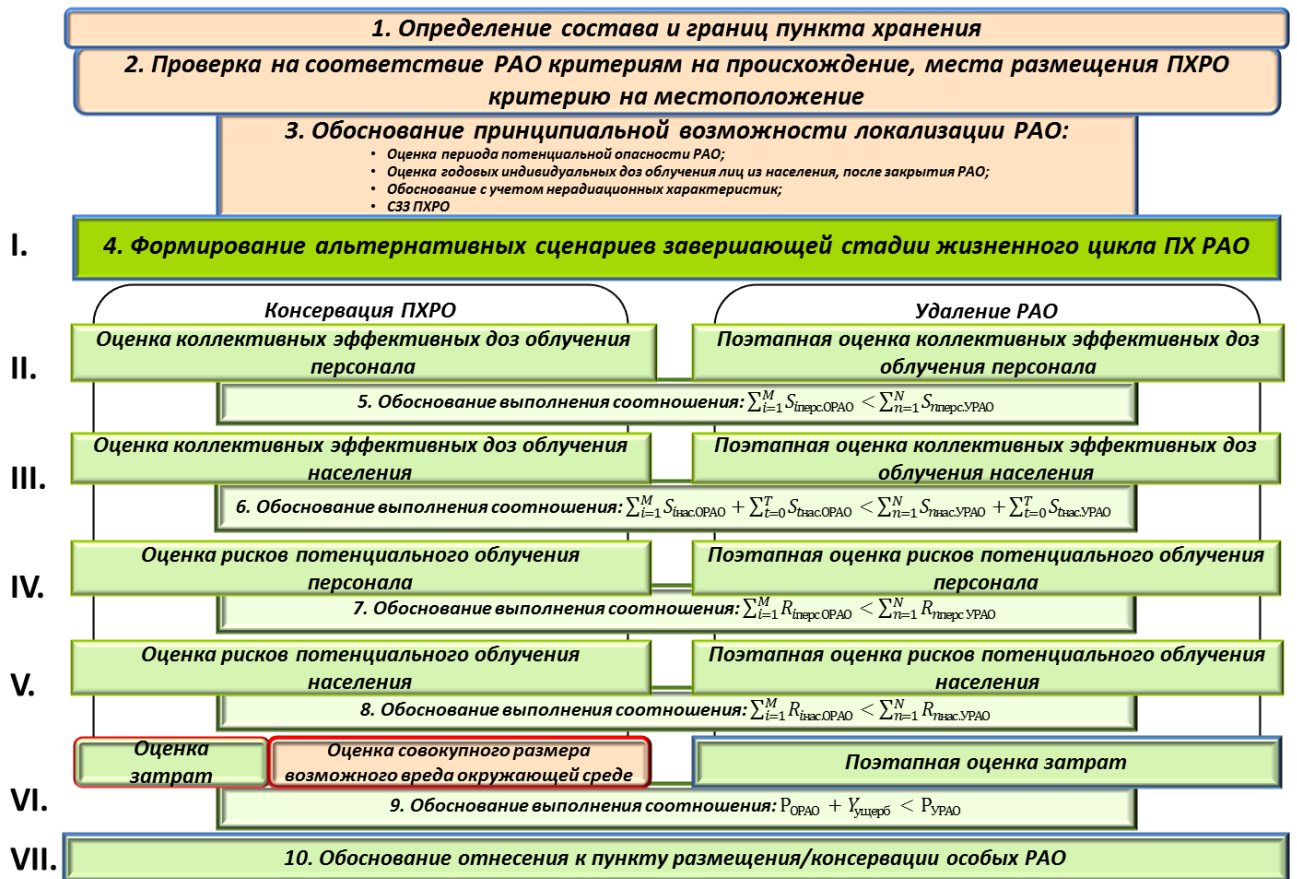


Рисунок 3.1 – Схема проведения комплексного обоснования отнесения РАО к особым РАО, а ПХРО к пункту размещения/консервации особых РАО с учетом критериев отнесения РАО к особым

Кратко опишем основные проблемные моменты и допущения, которые потребовалось выработать для практического применения критериев.

3.1 Определение состава и границ ПХРО

В первую очередь, до выполнения оценок критериальных параметров, установленных [48], необходимо провести анализ имеющейся информации о РАО, барьерах безопасности ПХРО, а также месте размещения РАО, для ответа на вопрос, существует ли принципиальная возможность перевода объекта в ПЗРО.

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации [53], состав ПХРО определяется эксплуатирующей организацией, а границы ПХРО определяются на основании сведений, содержащихся в решении о сооружении и размещении объекта. Большинство объектов созданы 30 и более лет назад, для них отсутствует проектная документация по разным причинам, в том числе по тому, что они являются «беспроектными». Во многих случаях определенная трудоемкость разработки комплексного метода предопределяла необходимость укрупнения объектов, размещенных на бывших комбинатах: АО «СХК», ФГУП ФЯО «ГХК»,

ФГУП «ПО «Маяк». Объекты, размещенные на территории одного завода, имели схожие типовые решения, в них размещены РАО схожего радионуклидного состава и одного типа. Объекты размещены на территории с одинаковыми гидрогеологическими условиями. Для некоторых комплексов хранилищ уже выполнены проекты консервации (площадка 16 АО «СХК»). Для учета этого обстоятельства в рамках комплексного метода были сформулированы рекомендации по объединению объектов на основании общих признаков, например:

- типовой проект (единообразие проекта);
- место размещения (единые условия миграции радионуклидов);
- схожий радионуклидный и морфологический состав РАО;
- разработан общий проект консервации;
- сложившаяся в результате прошлой деятельности единая организация и административное управление объектами;
- и другие [53].

Определение состава и границ ПХРО позволит также перейти к выполнению требования ст. 33 № 170-ФЗ, в соответствии с которым «порядок и меры по обеспечению ВЭ ... ПХРО должны быть предусмотрены в проекте ОИАЭ».

К сожалению, постановлением Правительства от 25.07.12 № 767 «О проведении первичной регистрации РАО» предусматривалось только заполнение акта первичной регистрации, с указанием крайне ограниченного набора данных, к которому (при необходимости) должен был прикладываться перечень имущества ПХРО для внесения в кадастр ПХРО. В условиях нормативных требований по составу предъявляемых документов комплексный метод ориентировался только на необходимость упоминания тех элементов, которые были бы необходимы для доказательства соответствия критериальным параметрам, а состав имущества ПХРО не определялся, т.к. должен быть определен в проекте перевода ПХРО в ПЗРО. Следствием этого стали задержки с утверждением Перечня пунктов хранения особых РАО Правительством России, и дополнительные запросы по части документов имущественного характера, в том числе по собственности на землю.

К настоящему времени в решении этих задач дозволена определенная гибкость. Постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2012 г. № 1494 «Об утверждении Положения об отнесении ОИАЭ к отдельным категориям и определении состава и границ таких объектов» эксплуатирующая организация определяет состав объекта на основании сведений, содержащихся в проектной, конструкторской, технологической и эксплуатационной документации. В 2015 году с участием автора были разработаны «Единые отраслевые методические рекомендации определения состава и границ ядерно и радиационно опасных объектов в границах ОИАЭ для целей ВЭ», которыми предусмотрена процедура объединения

«объектов, указанных в разрешении (лицензии) на осуществление деятельности в области использования атомной энергии, в один или несколько ЯРОО с учетом планируемых сроков, технологических особенностей ВЭ и размещения таких объектов на площадке». Таким образом, возможность пересмотра состава объекта для разработки наиболее гибкого плана ВЭ, учитывающего особенности размещения и характеристики, как самого объекта, так и отходов.

В целом данный раздел комплексного метода позволял сформировать новый и целостный объект, что в дальнейшем направлено на разработку проекта перевода в пункт консервации. Определение состава ПХРО позволит также оптимизировать работы по периодической оценке безопасности, которая согласно ст. 26 № 170-ФЗ должна выполняться «через каждые 10 лет вплоть до окончания их эксплуатации».

Комплексный метод предусматривает также определение границ СЗЗ, что соответствует требованию ст. 31 № 170-ФЗ: «в целях защиты населения в районе размещения ... ПХРО устанавливаются особые территории – санитарно-защитная зона и зона наблюдения».

Определение состава и границ ПХРО создавало предпосылки для оценки соответствия объекта критериям на местоположение и происхождение.

3.2 Определение периода потенциальной опасности РАО и расчетного периода

Различные формулировки понятия «период потенциальной опасности РАО» в нормативной документации не позволяют однозначно рассчитать данную величину. Рассмотрим определения этого понятия, встречающиеся в нормативных документах.

Согласно [5]: «*период потенциальной опасности РАО – период времени, по истечении которого удельная активность радионуклидов, содержащихся в РАО, снизится до значений, позволяющих освободить их от регламентации норм радиационной безопасности*». Как отмечалось выше, согласно [15] с отходами можно будет обращаться как с материалами, которые могут быть возвращены в неограниченное использование с соответствующей адресацией к таким уровням.

Более рациональный иной подход, в котором основой для определения периода потенциальной опасности РАО может быть взят период (T), по истечении которого сумма отношений удельных активностей радионуклидов ($Y_{Ai}(T)$) в отходах к их предельным значениям ($ПЗУ_{Ai}$), установленным [48], не будет превышать 1, т.е. материалы и вещества перестают быть РАО

$$\sum_i \frac{Y_{Ai}(T)}{ПЗУ_{Ai}} \leq 1, \quad (16)$$

Однако даже этот подход не дает оснований для практического применения при нормативно закреплённом перечне радионуклидов и значениях ПЗУА. Например, в перечень радионуклидов, подлежащих учету при отнесении к РАО, включен U-238, период полураспада

которого составляет $4,4 \cdot 10^9$ лет. Напомним, что возраст Солнечной системы и планеты Земля также оценивается в этом диапазоне. Подобные диапазоны времен заведомо не предполагают возможности построения сценариев деятельности (Рисунок 3.2). Перечень подобных примеров может быть продолжен. Очевидно, что для практического применения критериев отнесения РАО к особым должны быть использованы иные подходы к проведению оценки периода потенциальной опасности РАО.

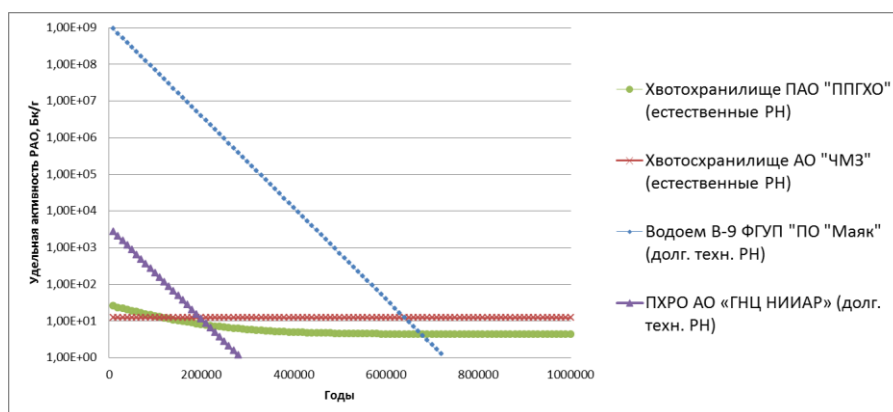


Рисунок 3.2 – Графики снижения удельной активности РАО, содержащих природные долгоживущие радионуклиды (РН), и РАО, содержащих техногенные долгоживущие РН

Определенный потенциал для этого имеют положения Федерального закона [4]: период потенциальной опасности РАО – «срок, в течение которого уровни радиоактивности РАО снижаются до показателей, при которых не требуется радиационный контроль». Кроме этого, статьей 17 устанавливаются требования к радиационному контролю, согласно которым после закрытия пункта захоронения должен проводиться периодический радиационный контроль на период потенциальной опасности РАО, срок и порядок которого должен быть определен Госкорпорацией «Росатом» по согласованию с органами государственного регулирования безопасности, с учетом проекта ПЗРО (ст. 13). Этот подход может учитывать помимо радиоактивного распада такие долговременные процессы и явления, как стабилизация барьеров безопасности и снижение концентраций радионуклидов вследствие их выноса за пределы защитных барьеров, что приведет к значительному сокращению сроков, в течение которых необходимо осуществлять радиационный контроль [54].

С учетом этого комплексным методом было предусмотрено для РАО, содержащих:

- Короткоживущие РН, оценивать период потенциальной опасности (T) максимально консервативно по формуле (16);
- Долгоживущие РН, вводится понятие «расчетный период - максимальный срок, в течение которого пункт консервации будет переведен в ПЗРО. При этом будет

доказано, что проведение периодического контроля после перевода пункта консервации в ПЗРО либо не понадобится, либо он будет низко затратным [55]». Для РАО, содержащих природные РН, расчетный период - 300 лет, для РАО, содержащих долгоживущие техногенные РН - 1000 лет.

При этом сделано допущение, что расчетный период может быть короче в случае, если есть уверенность в сроке перевода пункта консервации в ПЗРО [7]. Данный подход ограничения периода согласуется с рекомендациями по установлению срока после закрытия установок по обращению с отходами для демонстрации того, что установки работают так, как предусмотрено проектом [37, 56].

3.3 Требование к проведению оценки принципиальной возможности локализации РАО в месте их нахождения

Ответ на вопрос, возможно ли захоронение РАО в месте нахождения, актуален, поскольку в большинстве случаев оценка пригодности вмещающей среды для захоронения ранее не проводилась. Исключение составляют объекты, которые изначально создавались без намерения последующего удаления.

Анализ показал, что использование какого-либо упрощенного критерия для рассмотрения этого вопроса затруднено. В его качестве не могут применяться фактические данные по наличию или отсутствию ореола загрязнения вследствие ограниченного периода наблюдения и существенных неоднородностей вмещающей среды. И даже наличие ореола распространения радионуклидов, как например, у объектов В-9 ФГУП «ПО «Маяк», хвостохранилища Кирово-Чепецкого отделения ФГУП «РосРАО», не может являться противопоказанием для захоронения, в том числе и вследствие зависимости скорости продвижения фронта загрязнения от времени (Рисунки 3.3, 3.4).

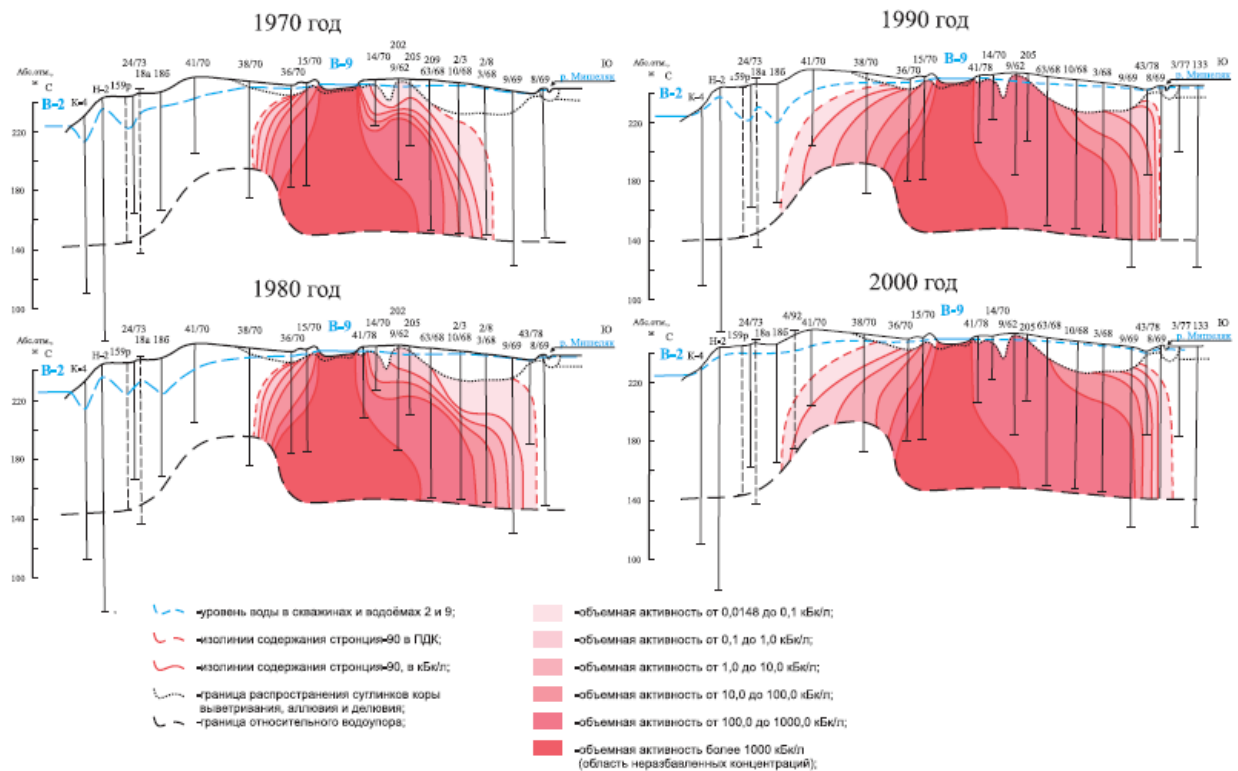


Рисунок 3.3 – Динамика распространения стронция-90 в подземных водах по оси ореола загрязнения от водоёма-9 [57]

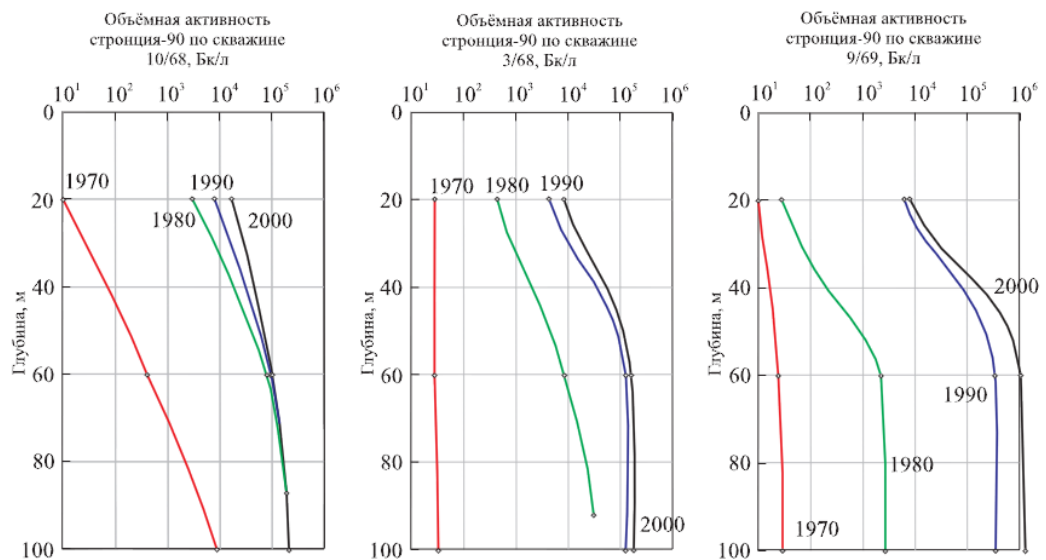


Рисунок 3.4 – Распространение стронция-90 по глубине в подземных водах скважин 10/68, 3/68 и 9/69 [57]

На представленных рисунках видно, что со временем скорость продвижения фронта ореола значительно снижается, как снижается и скорость увеличения объемной активности Sr-90 в скважинах по ходу движения фронта.

Корректнее исходить из того, что комплексный метод должен включать оценку объекта на соответствие требованиям международных рекомендаций и нормативных документов [58]. Таких документов несколько. МКРЗ для ПЗРО рекомендует граничное значение индивидуальной дозы облучения населения – 0,3 мЗв/год [44]. Национальные нормативы существенно жестче – при захоронении РАО индивидуальные годовые эффективные дозы облучения населения не должны превышать 10 мкЗв/год [16]. Отметим, что эта величина используется как граничная для применения требований норм радиационной безопасности (они не распространяются на объекты, создающие при любом обращении с ними «индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв» [15]).

Для некоторых, в том числе крупных объектов, таких как хвостохранилища и водоемы-хранилища, такие оценки, основанные на прогнозных расчетах миграции, проводились. Однако для большинства объектов (могильники ФГУП «ПО «Маяк», АО «СХК», ФГУП ФЯО «ГХК») и сами оценки доз и прогнозных расчеты на длительные сроки не выполнялись, в том числе по причине отсутствия данных о значимых миграциях радионуклидов из объектов.

С учетом изложенного в комплексный метод было включено требование оценки доз облучения населения на основе адаптированной модели формирования доз облучения населения с применением моделей, приведенных в документе МАГАТЭ [59]. Возможность захоронения на месте их нахождения увязывалась с соблюдением следующего условия [55]

$$\max_{t \in [0; T]} (E_{\text{нас.}t}) \leq 10 \frac{\text{мкЗв}}{\text{год}}, \quad (17)$$

где $E_{\text{нас.}t}$ – максимальная годовая индивидуальная эффективная доза облучения человека, соответствующая пику концентрации радионуклидов в зоне разгрузки подземных вод в районе ПХРО за период времени после завершения всех работ по консервации ($t=0$) до окончания периода потенциальной опасности РАО (оцененного по формуле (16)). До наступления этого периода такие значения доз могли быть возможны.

Для проведения оценок рекомендовалось самостоятельное проведение расчетов миграции с использованием распространенных моделей: пакет программ AMBER, рекомендованный МАГАТЭ для применения при оценках безопасности, либо программное обеспечение ECOLEGO) [55] или обращение за научно-технической поддержкой в компетентные организации (Рисунок 3.5).

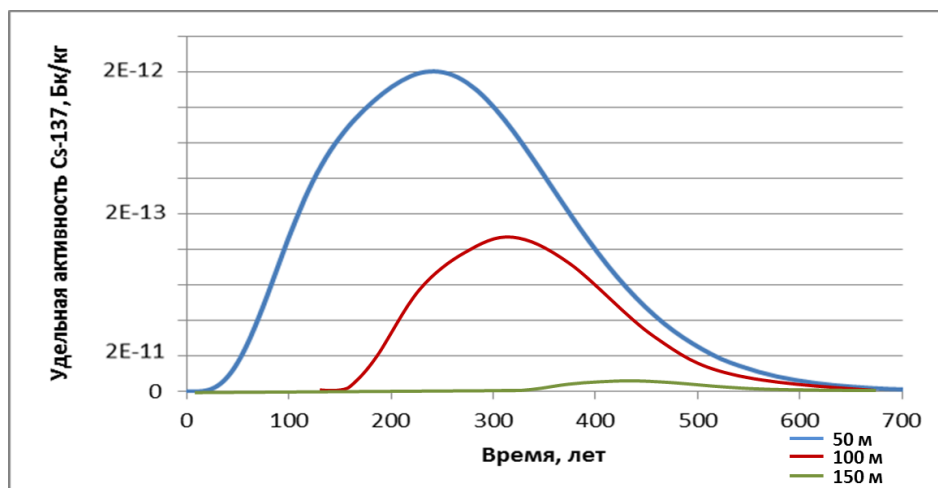


Рисунок 3.5 – Динамика изменения концентрации цезия-137 для ПХРО ФГУП ФЯО «ГХК» на разных расстояниях

Для случаев, когда распространение радионуклидов выходит за пределы СЗЗ предприятия до окончания периода потенциальной опасности РАО или прогнозируется превышение допустимого уровня, рекомендовалось предусмотреть дополнительные барьеры безопасности и (или) пересмотреть границы СЗЗ или самого ПЗРО. Эти рекомендации сопровождались условием того, что решения носят предпроектный характер, а в последующем, уже на проектном уровне будут предусмотрены и обоснованы необходимые барьеры.

Кроме этого, для обоснования принципиальной возможности перевода объекта в ПЗРО рекомендовалось провести анализ РАО с точки зрения их нерадиационных характеристик и сформулировать дополнительные требования к будущему проекту по таким параметрам как:

- тепловыделение;
- газообразование;
- содержание веществ, образующих комплексные соединения;
- содержание взрывоопасных и самовозгорающихся веществ;
- содержание веществ, реагирующих с водой с выделением теплоты и образованием горючих газов;
- содержание ядовитых веществ, химически токсичных веществ, патогенных и инфекционных материалов;
- наличие делящихся материалов, возможность самоподдерживающейся цепной реакции и др. [54].

3.4 Формирование сценариев обращения с РАО

На основании анализа проводимых работ в отрасли, в том числе в рамках выполнения мероприятий, предусмотренных ФЦП ЯРБ [22], автором были составлены основные этапы работ (Рисунок 3.6), которые должны быть выполнены в случае перевода объекта в ПЗРО,

среди них: создание покрывающего экрана, создание сети наблюдательных скважин, создание системы дренажных полос, омоноличивание РАО, реабилитация территории и обращение с РАО, образовавшимися в результате работ по реабилитации территории и многие другие. Кроме этого, составлены основные этапы работ, которые могут быть включены в сценарий по удалению РАО: извлечение, переработка, кондиционирование, паспортизация, транспортировка к пункту захоронения РАО, передача национальному оператору [59].



Рисунок 3.6 – Основные этапы работ по двум сценариям обращения с РАО [55]

После завершения работ по сценарию захоронения РАО в месте их нахождения, конечным состоянием объекта является ПЗРО, соответствующий федеральным нормам и правилам в области обращения с РАО.

В случае удаления РАО конечным состоянием объекта будет либо «зеленая лужайка» либо «коричневая лужайка», что зависит от места расположения ПХРО, а также от критериев реабилитации.

Для проведения оценок рисков и затрат, связанных с альтернативными работами по обращению с РАО, рекомендовалось опираться на опыт проводимых работ и используемых технологий в отрасли, составить обобщенный список операций, которые по мнению специалистов эксплуатирующей организации необходимо выполнить для каждого сценария. Неопределенности при выборе технологии извлечения и переработки РАО не должны являться препятствием для подготовки обосновывающих отнесение РАО к особым РАО материалов. Выше было отмечено, что обоснование является по сути предпроектным документом, сценарии не требуют детализации, достаточно выделить основные этапы требуемых работ.

3.5 Сравнение коллективных эффективных доз облучения

При обращении с РАО индивидуальные дозы, получаемые персоналом, значительно превосходят дозы населения. Суммирование доз населения и персонала может привести к ситуации, при которой будет принят вариант обращения с РАО, приводящий к большим дозам облучения населения, кроме этого, объединение этих двух величин противоречит системе радиационной защиты, которой устанавливаются отдельные граничные значения для населения и персонала. В рамках обоснования комплексного метода рекомендовалось дозы для персонала и населения учитывать отдельно.

Основные проблемные моменты и допущения применения соотношений (11) и (12) связаны с определением диапазонов индивидуальных доз облучения для этапов и процессов, которые целесообразно учитывать.

3.5.1 Коллективные эффективные дозы облучения населения

При разработке метода учитывалось следующее:

- в публикации 103 МКРЗ [44] указывается на нецелесообразность применения понятия коллективной эффективной дозы облучения при малых значениях доз и длительных промежутков времени при оптимизации защиты;
- при обращении с РАО индивидуальные годовые дозы облучения населения не должны превышать 100 мкЗв/год [16], в противном случае требуется пересмотреть сценарии;
- нормы радиационной безопасности не распространяются на источники, создающие при любых условиях обращения с ними индивидуальные годовые эффективные дозы менее 10 мкЗв [15].

Таким образом, при проведении оценки $\sum_{i=1}^M S_{i\text{нас.ОРАО}}$ и $\sum_{n=1}^N S_{n\text{нас.УРАО}}$ целесообразно рассматривать только те этапы, при выполнении которых индивидуальные дозы населения могут быть выше 10 мкЗв/год, но ниже 100 мкЗв/год.

Нормативными документами предусмотрено, что после окончания работ по переводу объекта в ПЗРО, годовая индивидуальная доза облучения населения не должна превышать 10 мкЗв. Соблюдение данного условия уже доказано (подраздел 3.3).

При выполнении оценки $\sum_{t=0}^T S_{t\text{нас.ОРАО}}$ и $\sum_{t=0}^T S_{t\text{нас.УРАО}}$ также предполагается, что выполняется требование норм радиационной безопасности, и за весь период потенциальной опасности РАО годовая доза облучения не превысит 10 мкЗв/год. Следовательно, оценки $\sum_{t=0}^T S_{t\text{нас.ОРАО}}$ и $\sum_{t=0}^T S_{t\text{нас.УРАО}}$ как для варианта удаления РАО, так и для варианта захоронения РАО в месте их нахождения можно не проводить.

В условиях применения комплексного метода необходимо определить ситуации, в которых на фазе ведения работ возможно дополнительное облучение населения в дозах от 10 до 100 мкЗв/год.

В принятых и обоснованных допущениях для оценки доз облучения населения требуется рассмотрение только двух случаев:

- предусмотренные сценариями работы сопровождаются значительным пылеобразованием;
- в результате миграции установлено, что до окончания работ по переводу объекта в ПЗРО или до окончания работ по извлечению РАО, индивидуальные годовые дозы облучения населения превышают 10 мкЗв/год.

Для первого случая предложено использование эмпирической методики расчета атмосферного переноса радиоактивности в приземном слое воздуха, представленной в [59].

Для оценки коллективных эффективных доз облучения населения для второй ситуации оценка проводится аналогично методике, используемой при проведении обоснования принципиальной возможности локализации РАО в месте их нахождения (подраздел 3.3).

Необходимо обратить особое внимание на то, что оценка коллективной эффективной дозы облучения населения за счет обращения с РАО сложная задача, с учетом того факта, что уровни облучения населения не фиксируются даже при проведении работ в непосредственной близости от жилой застройки [20]. Вклад предприятий, применяющих ядерные технологии, в среднегодовую дозу облучения населения в России не превышает 0,04% [60], в тоже время значение средней годовой эффективной дозы облучения населения за счет всех источников - 3,9 мЗв/год [60].

3.5.2 Коллективные дозы облучения персонала

Индивидуальные годовые дозы облучения персонала не должны превышать 20 мЗв/год, в противном случае требуется пересмотреть сценарий обращения с РАО. В случае если МАЭД в месте проведения отдельных этапов работ не превышает $3 \cdot 10^{-4}$ мЗв/ч за вычетом природного фона [15] и объемные активности радионуклидов в воздухе рабочей зоны не превышают уровней для населения, установленных [15], оценки коллективных эффективных доз облучения персонала на данном этапе можно не проводить.

Необходимо отметить, что значения среднегодовых и коллективных доз облучения персонала группы А, задействованного на предприятиях отрасли, ежегодно снижаются, так с 2000 г. среднегодовая эффективная доза облучения снизилась в почти в 2 раза [60]. Например, в 2013 г. для 53% сотрудников дозовые нагрузки не превысили 1 мЗв/год [60].

Возможны разные варианты получения оценок коллективных или индивидуальных доз облучения и трудозатрат, например, с учетом:

- разработанного проекта консервации;
- среднего значения МАЭД в зоне проведения работ и объемных активностей радионуклидов в воздухе в месте проведения работ;
- опыта проведения аналогичных работ на объекте, а также с учетом средней годовой индивидуальной дозы внешнего и внутреннего облучения персонала, задействованного при проведении работ на объекте (ЕСКИД, форма № 1-ДОЗ);
- опыта проведения аналогичных работ в отрасли.

Комплексный метод разрабатывался с ориентацией на отсутствие проектной документации. Поэтому, для каждого из этапов был определен перечень основных операций, сопровождающихся данными наибольших для этого этапа коллективными эффективными дозами персонала (Таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Основные операции при реализации сценариев обращения с РАО

Операция	Удаление РАО	Захоронение РАО в месте их нахождения
КИРО	+	+
подготовительные работы на объекте	+	+
извлечение РАО	+	-
переработка РАО	+	-
обращение с упаковками РАО и транспортировка РАО к ПЗРО	+	-
консервация ПХРО	-	+
мониторинг ПХРО/ периодический радиационный контроль ПЗРО	+/-	+
перевод пункта консервации в ПЗРО	-	+

Как приводилось выше, для обоснования отнесения РАО к особым требуется выполнение соотношения (11). Следовательно, необходимо выполнить оценки коллективных эффективных доз облучения персонала при проведении работ по захоронению РАО в месте их нахождения для всех операций, предусмотренных разработанным сценарием. В тоже время отсутствует требование выполнения оценки коллективных эффективных доз облучения для всех этапов работ, связанных с удалением РАО (Рисунок 3.7).

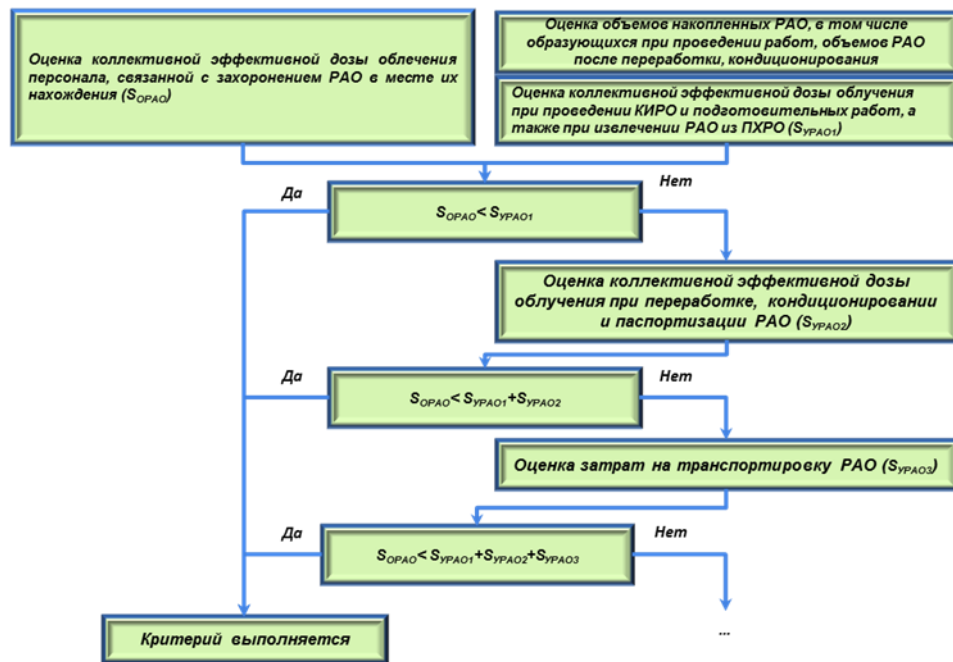


Рисунок 3.7 – Предлагаемая последовательность выполнения оценок коллективных эффективных доз облучения персонала

Рассмотрим предложенные подходы к проведению оценок коллективных эффективных доз облучения персонала для нескольких операций.

Например, для операций КИРО, которые требуется провести как при удалении РАО, так и при захоронении РАО в месте их нахождения, были предложены алгоритмы оценки доз облучения по среднему значению МАЭД, а также по оценке трудозатрат в зависимости от площади, на которой требуется провести КИРО (площадь ПХРО).

Трудозатраты были оценены в зависимости от площади ПХРО с учетом рекомендаций [12]. В общем виде для проведения оценки трудозатрат требуется значение площади ПХРО, при этом оценка трудозатрат проводится с использованием таблицы 3.2 [55].

Таблица 3.2 – Консервативная оценка общих трудозатрат при проведении КИРО [55]

Трудозатраты, чел.·ч	Площадь территории, м ²	до 10 000 м ²	от 10 000 м ² до 50 000 м ²	свыше 50 000 м ²
	Без измерений радона		42	$3,6 \cdot 10^{-3} \cdot П$
С измерением радона (только для потенциально радонноопасных объектов)		57	$5,1 \cdot 10^{-3} \cdot П$	$4,3 \cdot 10^{-3} \cdot П$

При проведении КИРО и других работ на объекте, в том числе работ по консервации ПХРО, работы проводятся в основном вблизи ПХРО, поэтому с учетом установленных сценарием трудозатрат, оценка коллективных эффективных доз обучения персонала может быть оценена по формуле

$$S_{\text{п.}} = \sum_{i=1}^M P_i \cdot T_i + \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \varepsilon_k \cdot q_{ik} \cdot (1 - z) \cdot V_{\text{п.}} \cdot T_i + \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K \varepsilon_{Rn} \cdot q_{iRn} \cdot F \cdot V_{\text{п.}} \cdot T_i, \quad (18)$$

где P_i – средняя МАЭД на территории проведения i -го этапа работ, Зв/ч;

T_i – трудозатраты при проведении i -го этапа работ, чел.·ч;

ε_k – дозовый коэффициент на единицу ингаляционного поступления эквивалентной равновесной объемной активности k -го радионуклида, Зв/Бк [15];

q_k – среднее значение измеренной объемной активности k -го радионуклида в воздухе, Бк/м³;

z – коэффициент эффективности средства индивидуальной защиты [15];

$V_{\text{п.}}$ – стандартная скорость легочного обмена для персонала, 1,4 м³/ч [15];

ε_{Rn} – дозовый коэффициент на единицу ингаляционного поступления эквивалентной равновесной объемной активности радона [15], мЗв/Бк;

q_{Rn} – среднее значение измеренной объемной активности радона в воздухе [15], Бк/м³;

F – фактор сдвига равновесия между радоном и дочерними продуктами распада, оценивается по результатам совместных измерений объемной активности радона и дочерних продуктов распада радона в контрольных точках.

Второе слагаемое в формуле (18) оценивается только в случае, если работы сопровождаются работами с интенсивным пылеобразованием, третье слагаемое рассчитывается в случае, если объект является радоноопасным.

Для ряда операций предлагается использовать подход, основанный на учете средней годовой индивидуальной дозы внешнего и внутреннего облучения персонала, задействованного при проведении аналогичных работ на объекте (ЕСКИД, форма № 1-ДОЗ), например, для учета коллективных эффективных доз облучения персонала, занятого проведением мониторинга ПХРО и периодического радиационного контроля ПЗРО

$$S = E_d \cdot T_d \cdot N, \quad (19)$$

где E_d – средняя годовая индивидуальная доза внешнего и внутреннего облучения персонала, задействованного при проведении работ по радиационному контролю на объекте, по данным ЕСКИД, Зв/год;

T_d – численность персонала, выполняющего радиационный контроль на объекте, чел.·год;

N – число лет проведения радиационного контроля и периодического контроля, лет.

Данный подход является консервативным, т.к. не учитывает изменение состояния барьеров безопасности ПХРО после его консервации, а также снижение дозозатрат в результате естественного распада радионуклидов со временем. В случае если по результатам сценария будет определено, что после перевода в ПЗРО потребуется проводить периодический радиационный контроль с периодичностью раз в несколько лет, формула может быть изменена.

Для операций, связанных с обращением с РАО, предусмотрена возможность применения справочных данных по удельным дозозатратам, полученным по результатам анализа работ, проводимых в отрасли (в том числе в рамках ФЦП ЯРБ). В качестве объема РАО, рекомендуется учитывать не только объем РАО, размещенных в ПХРО, но также и объем загрязненных строительных конструкций ПХРО и загрязненного грунта, по уровню удельной активности, относящегося к РАО, согласно [48]. Например, для операций по удалению РАО из ПХРО выделено 5 характерных ситуаций, для каждой из которых получены оценки дозозатрат на основе опыта проведения работ в НИЦ «Курчатовском институте, ФГУП «РосРАО», ОАО «Концерн Росэнергоатом» и др. [59] (Таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Фрагмент таблицы для оценок удельных коллективных эффективных доз облучения персонала при извлечении и упаковке РАО [59]

Тип ПХ (категория РАО)	$S_{и}$, чел.-мЗв/м ³
грунтовый или капитальный могильник (НАО, САО)	0,002÷0,067
капитальный могильник (в том числе ВАО или РАО омоноличены)	0,176
специализированное здание или сооружение (НАО, САО)	0,07
специализированное здание или сооружение (в том числе ВАО или РАО омоноличены (применение робототехники))	0,2

Данные значения объяснимы, так, например, проведение работ по извлечению РАО из могильников проводится на открытых территориях, зачастую позволяющих обеспечить наибольшую защиту персонала, в то время как работы, проводимые в зданиях и сооружениях, имеют недостаток свободного пространства для использования максимальной физической защиты. Обращение с отходами более низкой активности сопровождается меньшими коллективными эффективными дозами облучения персонала, что обусловлено большим количеством задействованного персонала на единицу объема РАО. Удельные дозозатраты также получены для работ по транспортировке РАО и переработке РАО, т.е. разработаны для основных этапов работ по обращению с РАО.

Метод получения оценок объемов после переработки, кондиционирования РАО и количество упаковок РАО для захоронения приведены в подразделе 3.7.

Коллективная эффективная доза облучения персонала может быть оценена по формуле

$$S = S_{n-в} \cdot n, \quad (20)$$

где n – количество упаковок РАО, шт;

$S_{n-в}$ – оценка дозозатрат при проведении работ по погрузке-выгрузке упаковок РАО. Предполагаем, что на каждую упаковку с РАО тратится около 2 минут, т.е. $S_{n-в} = 0,003$ чел.·мЗв/упаковку.

Для основных этапов работ, по обращению с РАО, подходы оценок коллективных эффективных доз облучения персонала представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Основные подходы проведения оценок коллективных эффективных доз облучения

Операция	Подход к получению оценок
КИРО	с учетом среднего значения МАЭД, площади ПХРО и трудозатрат (Таблица 3.2), по формуле (18)
подготовительные работы на объекте	с учетом среднего значения МАЭД и трудозатрат, согласно сценарию, по формуле (18)
извлечение РАО, переработка РАО, обращение с упаковками РАО и транспортировка РАО к ПЗРО	с учетом объема и категории РАО, на основании удельных дозозатрат (например, Таблица 3.3 и [59])
консервация ПХРО	с учетом среднего значения МАЭД, и трудозатрат, согласно сценарию, по формуле (18)
мониторинг ПХРО/ периодический радиационный контроль ПЗРО	на основании данных ЕСКИД, по формуле (19)
перевод пункта консервации в ПЗРО	с учетом полученных результатов по дозозатратам на проведение работ по консервации (рекомендации приведены в [59])

3.6 Сравнение рисков потенциального облучения

Формулировка критериев ст. 3 №190-ФЗ включает общее строго неопределенное понятие «риска». Постановлением [48] конкретизируется эта величина, а именно вводится термин «риск потенциального облучения», который не раскрыт в нормативных документах, в отличие от величины «коллективная эффективная доза облучения» нет указания на период времени, для которого необходимо проводить оценки.

В качестве риска потенциального облучения было предложено использовать «обобщенный риск потенциального облучения» для персонала и/или населения, подвергаемых радиационному воздействию в результате нарушений в работе и аварий вследствие

технологических причин и внешних воздействий. В этом случае (R) - произведение вероятности события (нарушения в работе и аварии), приводящего к облучению в рассматриваемой когорте, и вероятности смерти, связанной с облучением

$$R = k \cdot \sum_i (P_i \cdot S_i), \quad (21)$$

где P_i – вероятность i -го события, приводящего к облучению ($P_i < 1$); k – номинальный коэффициент риска, равный $0,05 \text{ Зв}^{-1}$; S_i – коллективная эффективная доза облучения персонала и/или населения, полученная в результате i -го события.

Анализ опыта обращения с РАО, помог выявить основные причины радиационных аварий, к ним относятся внешние воздействия на объект (природные и антропогенные чрезвычайные ситуации), а также технологические аварии на этапах обращения с РАО (Таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Основные возможные аварийные ситуации на разных стадиях обращения с РАО [55]

Вариант консервации		Вариант удаления	
Внешние воздействия	Технологические аварии	Внешние воздействия	Технологические аварии
Сейсмические воздействия	Нарушения в системе энергоснабжения	Сейсмические воздействия	Просыпания, разливы при извлечении РАО
Наводнения, затопления	Индустриальный пожар, самовозгорание РАО	Наводнения, затопления	Нарушения технологических регламентов при переработке и сжигании РАО
Экстремальные погодные условия (ураган, смерч, др.)	Внутреннее затопление	Экстремальные погодные условия (ураган, смерч, др.)	Нарушения работы механизмов при перемещениях РАО и погрузочно-разгрузочных работах
Природный пожар	Нарушение целостности барьеров: контейнеров, упаковок, гидроизолирующего слоя	Природный пожар	Транспортные аварии
Ударная волна	Взрыв накопленных газов	Ударная волна	Ошибки персонала
Падение воздушного судна на объект	Ошибки персонала	Падение воздушного судна на объект	

3.6.1 Оценка рисков, связанных с внешними воздействиями на объект

Как и в иных ситуациях было предложено два варианта, использование:

- данных, приведенных в планах мероприятий по защите персонала и населения в случае радиационной аварии на объекте. Согласно ОСПОРБ-99/2010 (п. 6.4) [16], в эти планы должен быть включен раздел, содержащий прогноз возможных аварий на радиационном объекте с учетом вероятных причин, типов и сценариев развития аварии, а также прогнозируемой радиационной обстановки при авариях разного типа [55];

- справочных данных для оценки рисков для наиболее вероятной и опасной ситуации для данного объекта.

Подготовленная аналитическая информация позволила эксплуатирующим организациям обосновать, что для объектов, находящихся на удалении от авиаузлов проводить оценку риска потенциального облучения для данного случая не актуально. Вероятность падения самолета оценивается для большинства объектов в России ниже 10^{-7} год⁻¹ (например, для Нововоронежской АЭС – 10^{-8} год⁻¹ [61]), что значительно ниже пренебрежимо малого риска.

Риск потенциального облучения при наводнении, затоплении, природных пожарах и сейсмических воздействиях также не приводит к значениям выше уровня пренебрежимо малого риска – 10^{-6} год⁻¹.

Наибольший радиационный риск может быть нанесен объекту в случае прохождения смерча через вскрытые барьеры безопасности. Для оценки риска потенциального облучения в случае прохождения смерча требуется провести оценку следующих факторов: продолжительности этапа проведения работ при вскрытых барьерах безопасности, вероятности прохождения смерча (P , 1/(год·м²)), площади открытой части ПХРО ($S_{вод.}$, м²), оцененная «захваченная» смерчем активность (A , Бк), предполагаемой площади загрязненной территории ($S_{загр.}$, м²), количества человек, подвергнувшихся воздействию (N , чел.), продолжительности воздействия (τ , 1/год) [55]

$$R = P \cdot S_{вод.} \cdot \frac{A}{S_{загр.}} \cdot N \cdot \varepsilon_{внеш.} \cdot \varepsilon_D \cdot \tau, \quad (22)$$

где $\varepsilon_{внеш.}$ — дозовый коэффициент внешнего облучения, Зв·м²/(Бк·год); $\varepsilon_D=0,01$ (1/чел.-Зв) — коэффициент риска смерти в результате дополнительного облучения [15].

Необходимые данные по смерчопасности территорий и сейсмическому районированию, подготовлены на основе [62, 63] и также стали частью пособия по применению комплексного метода [59].

3.6.2 Оценка рисков, связанных с технологическими авариями

Для каждого объекта список аварийных ситуаций, связанных с технологическими авариями индивидуален как для сценария удаления РАО, так и для сценария захоронения в месте нахождения. Однако статистика убедительно показывает, что наиболее частыми аварийными ситуациями, приводящими к рискам потенциального облучения, относятся аварии и нарушения при проведении работ по погрузке-выгрузке и транспортированию упаковок с РАО.

Риск потенциального облучения при проведении работ по обращению с упаковками РАО и их транспортировке оценивается с учетом конечного объема РАО, длины маршрута и типа транспорта по формуле

$$R_{УРАО} = r_{тр(п-в)} \cdot V_{РАО} + r_{(та)} \cdot V_{РАО} \cdot L, \quad (23)$$

где $r_{mp(n-e)}$, $r_{(ma)}$ – удельные обобщенные риски потенциального облучения на этапе погрузки-выгрузки и транспортировки 1 м^3 РАО, в соответствии с таблицей 3.6, $1/(\text{год} \cdot \text{м}^3)$;

$V_{РАО}$ – объем РАО после переработки, м^3 ;

L – длина маршрута транспортировки РАО от ПХРО до ПЗРО РАО, км.

Подробно подход получения удельных рисков потенциального облучения (Таблица 3.6) представлен в [55].

Таблица 3.6 – Удельный риск потенциального облучения персонала при транспортировке 1 м^3 РАО на расстояние 1 км [55]

Вид транспорта	Категория РАО			
	НАО		САО	
	$r_{mp(n-e)}$	$r_{(ma)}$	$r_{mp(n-e)}$	$r_{(ma)}$
Железнодорожный	$2,4 \cdot 10^{-10}$	$4,6 \cdot 10^{-12}$	$1,2 \cdot 10^{-9}$	$2,3 \cdot 10^{-11}$
Автомобильный	$6,7 \cdot 10^{-11}$	$4,6 \cdot 10^{-10}$	$3,3 \cdot 10^{-10}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$

При проведении работ на объекте как при извлечении РАО, так и при консервации возможны аварийные ситуации, связанные с отказом механизмов и грузового транспорта, которые приводят к дополнительным трудовозатратам персонала на исправление неисправностей. Проведение оценки риска потенциального облучения для данных ситуаций возможно только в случае, если на предприятии собирается статистика по аварийным ситуациям.

Риск потенциального облучения оценивается путем перемножения перечисленных ниже значений [59]:

- вероятность отказа механизма, ч^{-1} ;
- период работы механизма за все время проведения работ, согласно сценарию обращения с РАО, ч;
- число механизмов, шт.;
- среднее время устранения неисправности, ч;
- численность ремонтного персонала, задействованного в ремонтных работах, чел.;
- среднее МАЭД в месте устранения неисправности, мкЗв/ч ;
- вероятность смерти – $0,05 (\text{чел} \cdot \text{Зв})^{-1}$ [15].

В пособие был включен указанный способ проведения оценки рисков потенциального облучения при проведении работ, однако изначально понималось, что полученные оценки будут малы. Это объясняется высоким уровнем охраны труда на предприятиях атомной промышленности.

Так сравнительный анализ производственного травматизма в среднем по России и Госкорпорации «Росатом» показывает, что коэффициент частоты травматизма на предприятиях отрасли в 3–4 раза ниже. В тоже время, например, в 2013 г. было зафиксировано семь случаев, квалифицированных как радиационные инциденты, при этом годовой предел дозы – 50 мЗв не превышался [60]. Таким образом, выявить гипотетические аварии и оценить риски потенциального облучения с учетом низких вероятностей их возникновения в условиях соблюдения норм ядерной и радиационной безопасности – сложная задача.

Представленный метод оценки рисков потенциального облучения уже показывает, что риски, связанные с удалением РАО заведомо выше рисков, связанных с захоронением РАО в месте их нахождения. Это обусловлено в первую очередь, необходимостью обращения с упаковками и их транспортировкой. При этом, даже при наличии вероятностей радиационных аварий, вызванных внешним воздействием (например, смерч), риски при консервации неизменно будут уменьшаться быстрее, за счет создания дополнительных барьеров безопасности, чем при удалении РАО, т.к. барьеры в последнем случае наоборот будут вскрываться. Кроме этого, опыт проведения работ по консервации и удалению наглядно показывает, что длительность первых значительно короче.

Также в ходе разработки комплексного метода были рассмотрены риски, характерные для водоемов-хранилищ ЖРО как для гидротехнических сооружений. Расчет вероятного вреда при аварии на ТКВ [64] показал, что величина ожидаемого ущерба от аварии превысит 18,3 млн МРОТ, а количество пострадавших превысит 500 человек, кроме этого, будут нарушены условия жизнедеятельности свыше 1000 человек. Представленные в [64] оценки стали основанием для выполнения целого комплекса работ по повышению безопасности и исключению вероятности аварий (Рисунок 3.8), в том числе разработки Стратегического мастер-плана по решению проблем Теченского каскада водоемов [65].

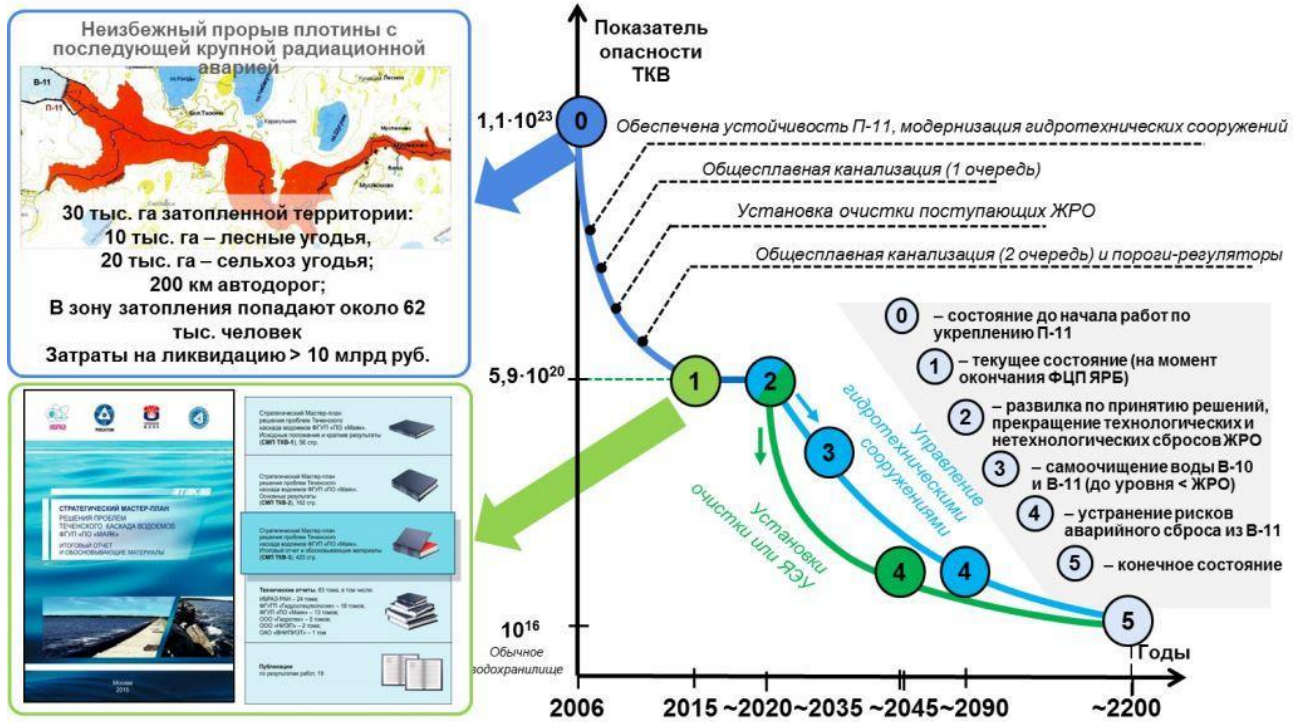


Рисунок 3.8 – Результаты работ по исключению аварий на ТКВ [65]

К началу проведения первичной регистрации РАО работы по исключению аварий на ТКВ как на гидротехническом сооружении уже подходили к завершению. Необходимо отметить, что в рамках ФЦП ЯРБ также были проведены работы по повышению безопасности как хвостохранилищ ПАО «НЗХК», АО «ЧМЗ» и др., так и водоемов-хранилищ ЖРО, что позволило не рассматривать риски разрушения гидротехнических сооружений в рамках комплексного метода.

3.7 Сравнение оценок затрат и совокупного размера возможного вреда окружающей среде

Сложность проведения оценок затрат для двух вариантов обращения с РАО связана с неопределенностями, обусловленными устройством сооружений, объемом, составом и характеристиками РАО, гидрогеологическими условиями и многими иными факторами. Однако представляется возможным выделить несколько общих закономерностей, характерных для оценки затрат на создание объектов и выполнение работ.

Зависимость общей стоимости работ по удалению от объема РАО. Понятно, что с учетом вклада инфраструктурных объектов и работ в общем виде должна реализовываться зависимость от объема РАО или самого сооружения (Рисунок 3.9). Это означает большие затраты даже при малых объемах РАО, с последующим их длительным медленным ростом. Затем, при

принципиально больших объемах, возможно дальнейшее увеличение, обусловленное переходом на иной уровень инфраструктуры.

Очевидно также, что чем больше объем РАО в ПХРО, тем меньше удельные затраты на 1 м³ РАО, но в определенном диапазоне объемов зависимость удельных расходов от объема является слабой. Имея ввиду характерные объемы РАО в ПХРО-кандидатах на особые РАО (это десятки тысяч и миллионы кубометров), можно допустить, что зависимость удельной стоимости извлечения от объема РАО отсутствует.

Важно, что эти зависимости одинаковы и для удаления РАО и для консервации. И в том и в другом случае наши объекты находятся, как минимум, в одинаковых условиях – вне зоны нелинейных эффектов слева и, по-видимому, справа.

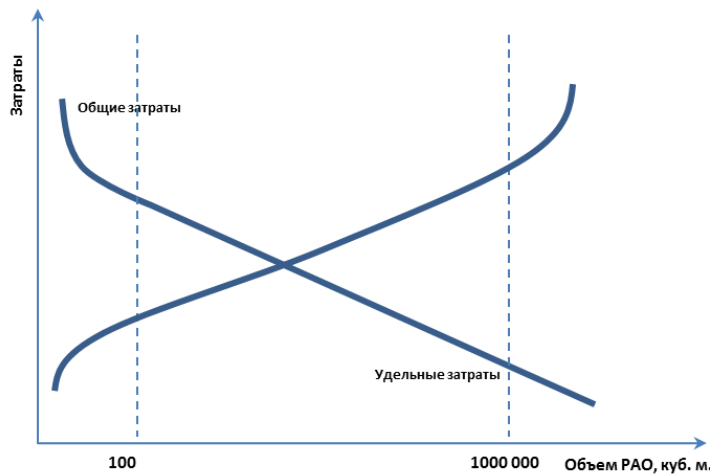


Рисунок 3.9 – Зависимость удельных затрат на обращение с РАО от объема РАО

Постараемся рассмотреть этапы обоих сценариев с той же логикой – ориентацией на отсутствие проектной документации по будущим решениям (если документация есть, то ситуация с исходными данными для оценок значительно упрощается). Поэтому, так же как и для оценки доз, для каждого из этапов был определен перечень основных операций, которые могли бы быть выполнены (Таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Основные операции при реализации сценариев обращения с РАО

Операция	Удаление РАО	Захоронение РАО в месте их нахождения
КИРО проектирование, проведение подготовительных работ на объекте (дороги, санпропускник и др.)	+	+
Извлечение РАО из ПХРО, переработка и кондиционирование	+	_*
Транспортировка РАО к ПЗРО	+	_*
Захоронение РАО	+	_*
Консервация ПХРО	-	+
Эксплуатация пункта консервации (реконструкция барьеров безопасности)	-	+
Мониторинг ПХ/ периодический радиационный контроль	+/-	+
Перевод пункта консервации в ПЗРО	-	+

**учитывается в случае, если согласно сценарию часть РАО должна быть извлечена*

Выделив эти крупные этапы по двум вариантам работ, попытаемся определить алгоритмы вычисления затрат на их реализацию, имея в виду несколько объектно определенных операционных величин: объем РАО, площадь и периметр объекта, площадь и периметр ореола загрязнения, объем пустот в ПХРО, площадь загрязненной территории, расстояние до ПЗРО, а также несколько видов расценок (тарифов), а именно: тарифы на захоронение, установленные в [52], тарифы на транспортирование, удельные затраты на переработку на типовых установках, на кондиционирование и др.

Для обоснования выполнения соотношения (15) требуется показать, что затраты на удаление РАО значительно превосходят затраты на консервацию и совокупный размер возможного вреда окружающей среде. Таким образом, аналогично ситуации при обосновании выполнения соотношения (11), проводить оценку всех этапов работ для варианта удаления РАО не требуется.

3.7.1 Оценка затрат на удаление РАО

Принят подход поэтапного выполнения оценки затрат на удаление, начиная с наиболее легко оцениваемых параметров и до достижения безусловно доказательного превышения затрат на консервацию в месте нахождения (Рисунок 3.10).

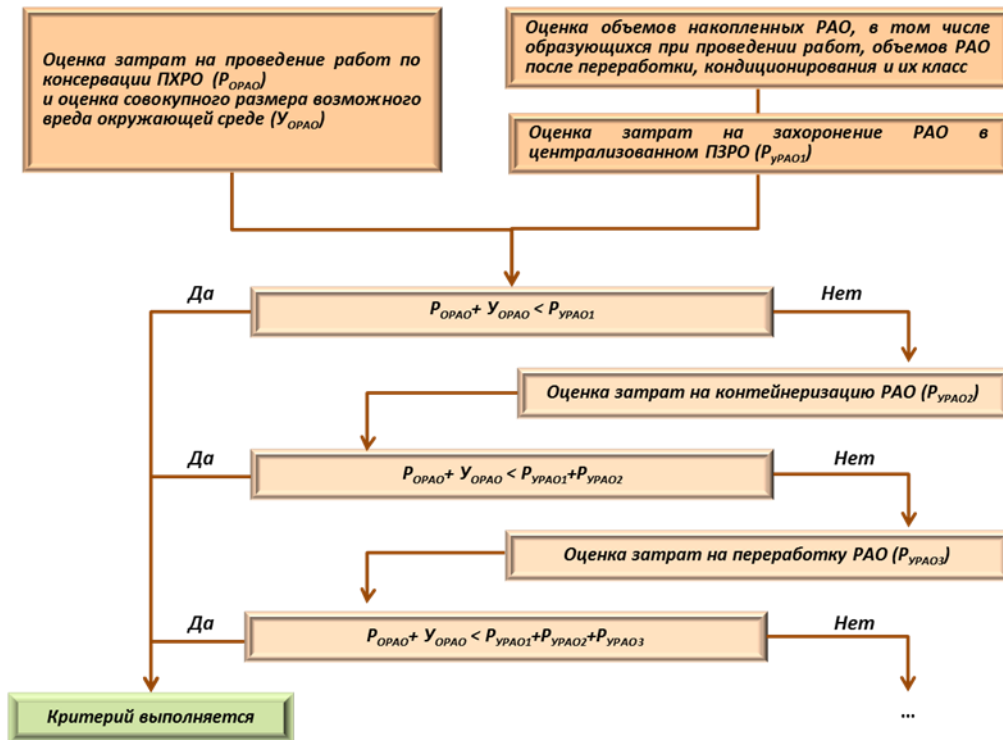


Рисунок 3.10 – Предлагаемая последовательность выполнения оценок затрат в рамках обоснования отнесения РАО к особым

Для проведения оценок затрат в целом необходимы следующие объектовые параметры:

- объем исходных удаляемых РАО и РАО, образующихся при проведении работ по ВЭ ПХРО и реабилитации территории, относящейся к ПХРО;
- представления о технологиях извлечения, переработки и кондиционирования РАО.

Имея эти данные и систематизированные данные по технологиям удаления, переработки и кондиционирования РАО, без труда можно получить объем подлежащих захоронению РАО различных классов и на основе тарифов определить затраты на захоронение и транспортирование.

Основу систематизированных данных по удельным затратам на извлечение РАО, их переработку, кондиционирование, паспортизацию, транспортировку по коэффициентам изменения объема РАО после переработки и кондиционирования и стоимости этих операций удалось сформировать в 2012–2013 гг. на базе:

- литературных данных [20, 21] и отчетных данных по мероприятиям ФЦП ЯРБ;
- данных проектов локальных стратегий обращения с РАО, разрабатываемых в этот период всеми организациями Госкорпорации «Росатом» [24, 26, 66–73].

На основе этих данных были созданы справочные таблицы, позволяющие сориентироваться с выбором подходящей технологии и определить конечный объем отходов, после переработки и кондиционирования, а также удельные затраты на отдельные работы (Таблицы 3.8–3.12).

Конечный объем РАО, которые будут переданы на захоронение, определяется исходя из объема извлеченных РАО, предполагаемой технологии переработки (Таблицы 3.8–3.9), а также коэффициента изменений объема после размещения переработанных отходов в контейнер

$$V_k = \sum_i \mu_i \cdot y_i \cdot V_i, \quad (24)$$

где V_k – объем РАО k -го класса РАО после переработки и упаковки (объем брутто);

V_i – объем извлеченных РАО i -го типа (Таблица 3.8);

μ – коэффициент увеличения объема после переработки (Таблица 3.8);

y – коэффициент увеличения объема при контейнеризации РАО (Таблица 3.9);

k – номер класса РАО для захоронения, $k= 1, 2 \dots 6$.

Таблица 3.8 – Справочные данные по изменению объема РАО после переработки [59]

№	Тип установки	Тип РАО	Коэффициент увеличения объема после переработки (μ_i), б/р	Стоимость переработки $T_i^{\text{перер.}}$, тыс. руб./ м ³
1.	Цементирования	ЖРО-СаО, НАО (гетерогенные и гомогенные)	до 1,5–2	140
2.	Выпаривания	ЖРО-НАО	0,017	80
3.	Остекловывание	ЖРО, ТРО-ВаО, СаО	0,133	
4.	Плавление МРО	ТРО-НАО	0,076	70
5.	Сжигания	ТРО НАО	0,02–0,006	150
6.	Установка ИСО	ЖРО-НАО	до 0,05	5
7.	Сортировки ТРО	ТРО НАО	0,33	30
8.	Прессование ТРО	ТРО-НАО	0,5–0,1	100

Таблица 3.9 – Справочные данные по изменению объема РАО после контейнеризации [59]

Наименование контейнера	Полезный/внешний объем, м ³	Максимальные затраты ($T_j^{\text{конд.}}$), тыс. руб./шт.	Коэффициент изменения объема после контейнеризации (y_j), б/р
НЗК - III	0,6/3,64	700	6,06
НЗК-II	1,5/4,1	50÷150	2,73
НЗК-150	1,5/3,74	100	2,49
КРАД	3,0/4,05	25	1,35

Исходя из полученных оценок конечных объемов РАО каждого класса, а также утвержденных тарифов на захоронение, проводится оценка затрат на передачу РАО национальному оператору по формуле

$$P_{\text{зах.}} = \sum_{k=1}^6 V_k \times T_k, \quad (25)$$

где V_k – объем РАО k -го класса РАО, включая упаковку и контейнер (объем брутто);

T_k – тариф на захоронение РАО для k -го класса РАО [52];

k – номер класса РАО для захоронения, $k=1, 2, \dots$

Понятно, что существует несколько ограничений данного подхода. Условно считалось, что РАО для захоронения должны приводиться в соответствие с критериями приемлемости, которые на тот момент не были установлены, поэтому предполагалось, что после переработки и контейнеризации отходы можно передать национальному оператору. Тариф на захоронение для РАО класса 5 мог использоваться только для ЖРО, которые образуются на трех предприятиях: ФГУП ФЯО «ГХК», АО «НИИАР», АО «СХК», для остальных ЖРО необходимо было провести оценку затрат с учетом отверждения отходов.

В случае, если полученная оценка затрат на захоронения РАО не позволяет обосновать, что удаление РАО из ПХРО более затратно, чем захоронение РАО в месте их нахождения, предлагалось перейти к выполнению оценок затрат, связанных с остальными этапами обращения с извлекаемыми отходами.

Затраты на транспортирование РАО к централизованному пункту захоронения ($P_{\text{транс}}$) рассчитываются исходя из объема РАО, дальности перевозки, вида транспорта по формуле

$$P_{\text{транс.}} = \sum_{k=1}^6 V_k \cdot (T^{\text{ав.}} \cdot L_{\text{ав}} + T_{\text{д}}^{\text{ж}} \cdot L_{\text{д}}^{\text{ж}}), \quad (26)$$

где $P_{\text{транс}}$ – затраты на транспортирование РАО до централизованного пункта захоронения;

$T^{\text{ав.}} \cdot L_{\text{ав}}$ – затраты на транспортирование РАО автомобильным транспортом (Таблица 3.10) на расстояние ($L_{\text{ав}}$);

$T_{д}^{\text{ж}} \cdot L_{\text{ж/д}}^{\text{ж}}$ – затраты на транспортирование железнодорожным транспортом (Таблица 3.10)

на расстояние $L_{\text{ж/д}}$.

Таблица 3.10 – Контрольные значения затрат на транспортирование РАО [59]

Этап работ	Разъяснения, ед. изм.	Максимальные затраты
ж/д перевозка ($T^{\text{ав.}}$)	руб./1 контейнер, 10т, 1000 км	20 000
а/м транспортом ($T_{д}^{\text{ж}}$)	руб./($\text{м}^3 \cdot 100 \text{ км}$)	15 000

Аналогично выполнялась оценка затрат на транспортировку РАО к месту их переработки, в том числе если переработку РАО планируется проводить с использованием услуг сторонних организаций, рассчитывается исходя из объема извлеченных РАО, дальности перевозки, вида транспорта, но без учета изменения объема РАО.

Затраты на контейнеризацию переработанных РАО ($P_{\text{конд.}}$) рассчитываются исходя из объема РАО после переработки (Таблица 3.11), с учетом класса РАО после переработки, а также затрат на закупку контейнеров, по формуле

$$P_{\text{конд.}} = \sum_{j=1}^4 (\sum_i \mu_i \cdot V_i) / V_j \times T_j^{\text{конд.}}, \quad (27)$$

где V_j – полезный объем контейнера типа m ;

$T_j^{\text{конд.}}$ – затраты на покупку одного контейнера типа $j = 1 \dots 4$.

Для ОНРАО и отходов, образующихся при добыче и переработке урановых руд, в случае, если они отправляются на захоронение без кондиционирования, затраты на кондиционирование не учитываются.

Оценка затрат на проведение сортировки, переработки и паспортизации РАО ($P_{\text{с.п.}}$) проводится по формуле

$$P_{\text{с.п.}} = \sum_{i=1}^N V_i \times T_i^{\text{переп.}} + \sum_{j=1}^4 (\sum_i \mu_i \cdot V_i) / V_j \cdot T_m^{\text{пасп.}}, \quad (28)$$

где $T_m^{\text{пасп.}}$ – затраты на паспортизацию одной упаковки РАО типа m (Таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Контрольные значения затрат на паспортизацию РАО [59]

Этап работ	Разъяснения, ед. изм.	Максимальные затраты ($T_m^{\text{пасп.}}$)
Паспортизация	Для контейнеров, тыс. руб./шт.	5
	Для партии РАО, тыс. руб./партия	3

В состав затрат, связанных с извлечением РАО, включаются затраты на вскрытие ПХРО, безопасное извлечение РАО из ПХРО, а также загрязненных выше уровней отнесения к РАО грунтов и материалов. Затраты определяются на основе площади ПХРО, выбора технологий по вскрытию поверхностного экрана и т. д.

Таблица 3.12 – Контрольные значения затрат на работы по извлечению РАО из ПХРО [59]

Вид работ	Тип ПХРО и вид РАО	Расчетная единица, контейнер, м ³	Стоимость извлечения, тыс. руб.
Извлечение РАО штатными средствами	специализированное здание или сооружение (НАО), контейнеры	контейнер	0,3
Извлечение РАО штатными средствами	специализированное здание или сооружение (САО), контейнеры	контейнер	0,6
Извлечение РАО штатными средствами	специализированное здание или сооружение (НАО, ОНРАО), навалом	м ³	3,0
Извлечение РАО штатными средствами	специализированное здание или сооружение (НАО, САО), навалом	м ³	300
Извлечение РАО с применением грузоподъемной техники	специализированное здание или сооружение (НАО, САО)	м ³	220
Извлечение РАО с применением средств робототехники	грунтовый или капитальный могильник (НАО)	м ³	550
Извлечение ЖРО из водоема	ЖРО-НАО	м ³	0.1
Размыв донных отложений водоёмов хранилищ ЖРО	ЖРО-НАО	м ³	100
Извлечение высокоактивных пульп	капитальный могильник (в том числе ВАО или РАО омоноличены)	м ³	1500

Кроме перечисленных выше затрат при необходимости (в случае, если неравенство (14) не выполняется), в соответствии с [74], может быть проведена оценка затрат, связанных с:

- эксплуатацией ПХРО, включаются затраты на «приобретение оборудования, инвентаря, материалов, энергоресурсов, а также иных материальных оборотных средств, необходимых для эксплуатации ПХРО; затраты на персонал, необходимый для эксплуатации ПХРО». Данная оценка может быть выполнена исходя из текущих расходов на эксплуатацию ПХРО, с учетом периода проведения работ по удалению РАО;

- ВЭ ПХРО. В данные затраты включаются затраты на разработку проектной и рабочей документации по выводу из эксплуатации ПХРО, на получение разрешительной документации, на выполнение работ по ВЭ ПХРО;

- реабилитацией загрязненных территорий, относящихся к ПХРО, включаются затраты на разработку проектной и рабочей документации по реабилитации загрязненных территорий, на получение разрешительной документации, на выполнение работ по реабилитации загрязненных территорий.

В состав всех видов затрат включаются затраты на выполнение мер по исполнению требований действующего законодательства в области использования атомной энергии [59].

3.7.2 Оценка затрат на консервацию ПХРО и дальнейший перевод в ПЗРО

Разработан алгоритм последовательности действий, который позволяет, имея минимальное количество информации ПХРО, провести оценку затрат для всех этапов (Рисунок 3.11).

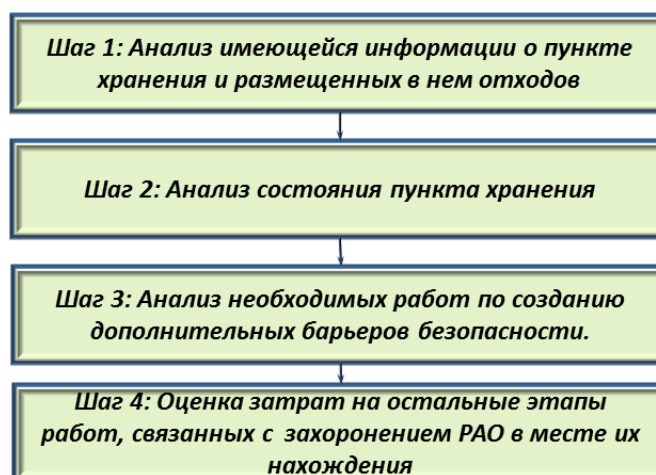


Рисунок 3.11 – Этапы проведения оценки затрат, связанных с захоронением РАО в месте их нахождения

Анализ и систематизация данных, полученных в ходе работ по удалению РАО и консервации ПХРО [20–21, 34–36, 57], а также данных отчетных документов по ФЦП ЯРБ, позволил сформировать метод проведения оценки затрат на обращение с РАО. Для основных

работ по консервации РАО были оценены максимальные удельные затраты, на основании данных по проводимым работам в отрасли (Таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Оценка максимальных удельных затрат на отдельные виды работ по консервации ПХРО [59]

Виды работ	Максимальные удельные затраты
создание отводных каналов	30 тыс. руб./м
создание покрывающего экрана	18 тыс. руб./м ²
омоноличивание РАО	10 тыс. руб./м ³
создание барьеров на пути миграции радионуклидов из ПХ, локализация ореола загрязнения	230 тыс. руб./м
проведение гидроизоляции с вскрытием внешней стороны барьеров безопасности (для специализированных зданий) и дальнейшей обваловкой периметра здания	150 тыс. руб. м ²
реабилитация территории	10–60 тыс. руб./м ²

Оценка затрат начинается с проведения анализа данных об объеме размещенных в ПХРО и их категорий (данные СГУК РВ и РАО). В случае если при проведении работ требуется провести извлечение части отходов, проводится оценка объема и категории данных отходов. Извлечение части отходов характерно для проведения работ по консервации емкостей-хранилищ ЖРО, а также водоемов-хранилищ ЖРО.

Для проведения оценки затрат на консервацию ПХРО с последующим захоронением РАО в месте их нахождения необходимо в ходе анализа состояния барьеров безопасности получить следующие основные данные:

- площадь ПХРО;
- длина периметра ПХРО;
- длина периметра и площадь ореола загрязнения;
- объем пустот;
- площадь загрязненной территории;
- период потенциальной опасности РАО в ПХРО;
- объем и класс РАО, которые подлежат извлечению из ПХРО;
- длительность этапов проведения мониторинга ПХРО и периодического радиационного контроля.

Для большинства объектов требуется проведение работ по созданию дополнительного покрывающего экрана. Для оценки затрат на создание покрывающего экрана, необходимо оценить объем работ, стоимость и объем необходимых материалов. По результатам анализа работ, проводимых в отрасли и за рубежом, был составлен перечень характеристик покрывающих экранов для разных категорий РАО [59].

В [59] также представлен метод проведения оценки затрат на другие этапы работ, связанных с консервацией ПХРО.

3.7.3 Совокупный размер возможного вреда окружающей среде

Формулирование методических подходов к оценке *«совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения»* представляло собой значимую проблему. Несмотря на высокую насыщенность законодательства понятиями «вреда» и «ущерба», реального раскрытия механизмов его оценки нет. В № 170-ФЗ [2], например, 12 раз встречается понятие «вред, причиненный радиационным воздействием» «жизни и здоровью граждан» и «работников», а также «окружающей среде». Но ни одного нормативного документа, позволяющего рассчитать размер возможного вреда, причиненного радиационным воздействием, в Российской Федерации не существовало.

Согласно ст. 1 № 7-ФЗ [49], под вредом понимается негативное изменение окружающей среды в результате загрязнения, повлекшее за собой деградацию естественных экологических систем и истощение природных ресурсов. Вред должен быть возмещен в соответствии с утвержденными таксами и методиками или, в случае их отсутствия, исходя из фактических затрат, понесенных для восстановления окружающей среды (ст. 77). До начала исследования не существовало и нормативных требований о проведении оценки совокупного размера вреда окружающей среде.

Отметим также некоторую асимметрию критериев требований рассматриваемого постановления относительно сценариев удаления и захоронения РАО. Оценку совокупного размера вреда требуется выполнить в денежном эквиваленте только для варианта захоронения РАО в месте их нахождения, хотя могут быть сформулированы веские доводы в пользу того, что извлечение РАО может привести к значимому и не только радиационному вреду окружающей среде, который нужно учитывать. Воздействие ПХРО на окружающую среду зависит от стадии его жизненного цикла, а также от интенсивности воздействия.

В идеале на всех стадиях – «сооружение», «эксплуатация», «вывод из эксплуатации» или «консервация ПХРО» ущерб окружающей среде вследствие крайней ограниченности радиационного воздействия отсутствует, а ущерб составляют только общестроительные компоненты. Однако среди объектов наследия было создано достаточно много объектов, в составе которых отсутствовали качественные барьеры безопасности, и для которых могло

наблюдаться постоянное увеличение уровней воздействия и площади территории, подверженной радиационному воздействию (Рисунок 3.12). Естественно, что наибольшее негативное влияние оказывают объекты, в которых РАО не изолированы от окружающей среды – водоемы-хранилища ЖРО и хвостохранилища. При этом основными путями формирования воздействия становились:

- миграция радионуклидов из ПХРО с поверхностными и грунтовыми водами;
- аварийные ситуации при размещении РАО в ПХРО (просыпи);
- поступление радиоактивных аэрозолей в приземный слой атмосферы (ветровой унос) [75].

С учетом того факта, что оценка должна проводиться для объектов, в которые уже размещены отходы, т.е. для ПХРО, которые планируется законсервировать или уже законсервированных, можно считать, что воздействие на окружающую среду уже сформировалось.

Для него необходимо было определить четыре составляющие уравнения для оценки вреда:

1. Характеристики интенсивности и субъекты воздействия. Рекомендации МКРЗ позволяли в качестве таковых опередить мощность дозы облучения референтных объектов живой природы, а в качестве объектов такие как: трава, сосна, мышь, олень/косуля, улитка, змея, дождевой червь, водные растения, моллюски, рыба пелагическая и придонная, утка, пчела [76].

2. Пороговые значения интенсивности воздействия или иные признаки наступления вреда – эффекта. В выпущенных публикациях МКРЗ указано, что зачастую, за исключением млекопитающих, не удастся установить зависимость доза-эффект и сделать выводы о причиненном вреде, в особенности в условиях малых доз [45]. В ранее выпущенных публикациях предлагались различные величины «безопасного порога облучения» от 0,2 до 10 мГр/сут [77–84].

3. Характеристики наличия в районе расположения ПХРО объектов окружающей среды, которым может быть нанесен вред (имелись многочисленные региональные и областные справочники по численности и распространенности объектов биоты [85–86]).

4. Данные для пересчета фактов нанесения вреда отдельным особям биоты к её совокупной оценке в рублях [87–94].

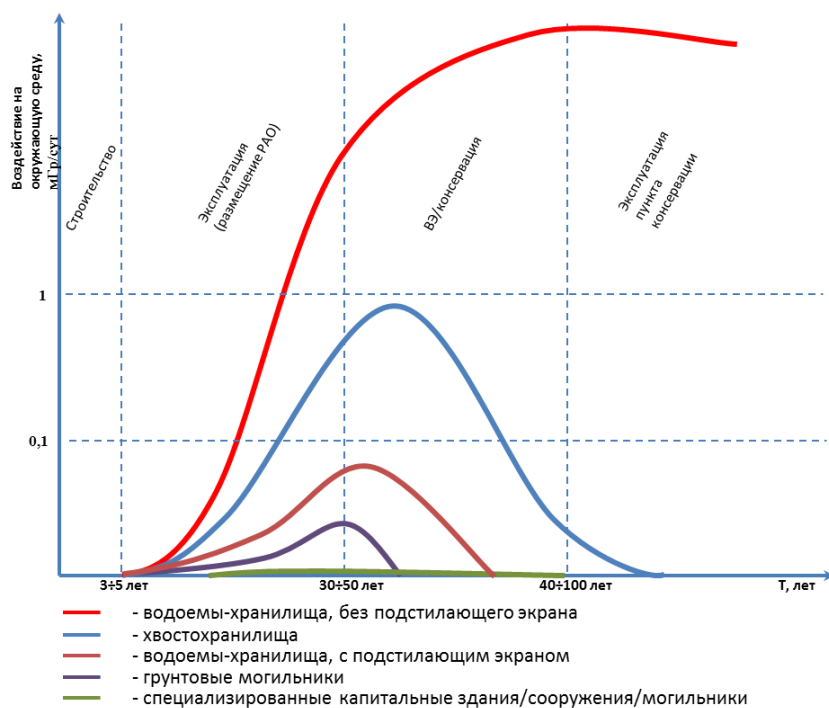


Рисунок 3.12 – Зависимость величины воздействия ПХРО на окружающую среду на разных стадиях жизненного цикла ПХРО

Таким образом, в алгоритме имелись значимые пробелы, заполнение которых возможно было только при достижении согласия широкого круга специалистов.

Такой идеей, вокруг которой стала возможна консолидация специалистов, стал предложенный И. И. Крышевым и Л. А. Курындиной подход к оценке, включающий несколько допущений.

Оценка проводится путем сравнения полученных значений с критериями сохранения благоприятной окружающей среды и обеспечения радиэкологической безопасности, в качестве которых приняты значения мощности дозы 1 мГр/сут для животных и 10 мГр/сут для растений. Данный подход основан на постулате порогового действия ионизирующего излучения, который подтверждается многочисленными экспериментальными данными. В разработанном комплексном методе предложен консервативный подход, предполагающий, что в случае превышения указанных значений мощностей доз облучения референтных объектов живой природы, предполагается их гибель. Другими словами, предполагается, что вред от радиационного воздействия оценивается как уже состоявшийся [55].

Таким образом, была сформирована идеология оценки. В целях получения эффективного алгоритма автором был проведен анализ нормативных документов, и для основных объектов живой природы сформированы справочные материалы, содержащие таксы/нормативы за ущерб, установленные в соответствии с законодательством Российской Федерации [87–94].

Для практического применения разработанного метода анализа данных регистрационных форм организаций, заполненных в ходе первичной регистрации, выявлен перечень основных радионуклидов, которые могут вносить вклад в мощность дозы облучения биоты: H-3, Co-60, Sr-90, Cs-137, Ra-226, Th-230, Th-232, U-234, U-235, U-238, Pu-239, Pu-240, Am-241. Необходимо отметить, что в ходе первичной регистрации были выявлены объекты, содержащие также: Th-228, Ac-228, Pb-210.

Для радионуклидов были сформированы данные, содержащие факторы дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения референтных объектов природы [95–96], а также коэффициенты перехода радионуклидов в референтные организмы [97].

Разработана система таблиц, детализирована последовательность действий при проведении оценки вреда (Рисунок 3.13), собраны и систематизированы необходимые для проведения оценки вреда данные.

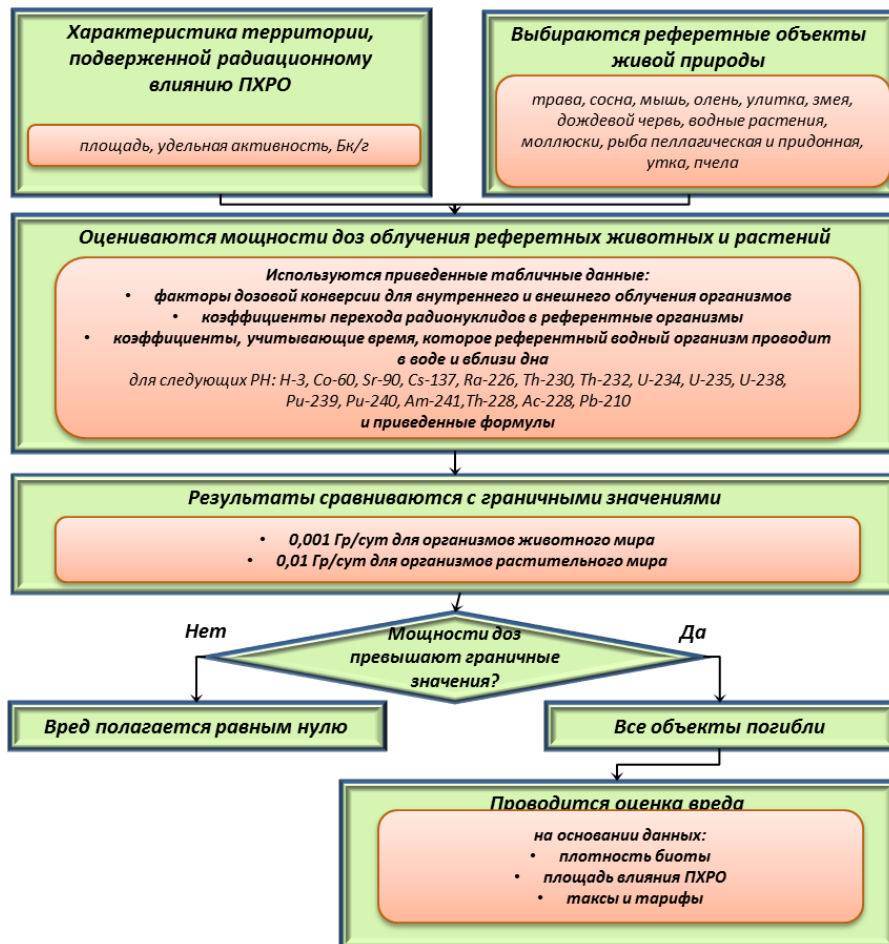


Рисунок 3.13 – Схема проведения оценки вреда окружающей среде

В расчетах мощностей доз облучения референтных объектов живой природы рекомендуется учитывать внешнее облучение от объектов окружающей среды и внутреннее облучение от радионуклидов, накопленных организмами биоты.

Мощность дозы облучения каждого j -го наземного организма (D_j , мкГр/ч), обитающего в исследуемой экосистеме (кроме птиц), определяется путем суммирования мощностей дозы облучения этого объекта от всех рассматриваемых радионуклидов i , рассчитывается по формуле

$$D_j = \sum_{i=1}^N (DCF_{ij}^{\text{внутр.}} \times K_{ji} + DCF_{ij}^{\text{внеш.поч.}}) \times C_i^{\text{поч.}}, \quad (29)$$

$DCF_{ij}^{\text{внутр.}}$ – фактор дозовой конверсии для внутреннего облучения j -го объекта биоты от i -го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг сырого веса);

$DCF_{ij}^{\text{внеш.}}$ – фактор дозовой конверсии для внешнего облучения j -го объекта биоты от i -го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг);

K_{ji} – коэффициент перехода радионуклидов в референтные организмы, (Бк/кг сырой массы/ Бк/кг сухой массы почвы);

$C_i^{\text{поч.}}$ – удельная активность i -го радионуклида в почве, Бк/кг.

Мощность дозы облучения l -го референтного вида водоплавающих птиц D_l , обитающего в исследуемом водном объекте, складывается из мощности дозы внутреннего облучения от радионуклида, инкорпорированного в ткани и органы водоплавающих птиц, мощности дозы внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в воде, и мощности дозы внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в почве вблизи исследуемого водоема

$$D_l = \sum_{i=1}^N ((DCF_{il}^{\text{внутр.вод}} \times K_{li} + 0,5 \times DCF_{il}^{\text{внеш.вод}}) \times C_i^{\text{вод.}} + 0,5 \times DCF_{il}^{\text{внеш.поч.}} \times C_i^{\text{поч.}}), \quad (30)$$

где $DCF_{i,k}^{\text{внеш.вод}}$, $DCF_{i,k}^{\text{внеш.почв}}$ – факторы дозовой конверсии для внешнего облучения l -го референтного вида водоплавающих птиц от i -го радионуклида в воде и в почве, соответственно, (мкГр/ч)/(Бк/кг сырого веса);

$DCF_{i,k}^{\text{внеш.внутр.}}$ – фактор дозовой конверсии для внутреннего облучения l -го референтного вида птиц или летающих насекомых от i -го радионуклида в воде, (мкГр/ч)/(Бк/кг сырого веса);

K_{li} – коэффициент перехода радионуклидов в референтные организмы, (Бк/кг сырой массы/ Бк/кг);

$C_i^{\text{почв}}$, $C_i^{\text{вод}}$ – удельная активность i -го радионуклида в почве и в воде, соответственно, Бк/кг.

Для водных организмов основной вклад в мощность дозы внешнего облучения дают донные отложения и вода. Мощность дозы облучения k -го референтного объекта D_k определяется путем суммирования мощностей дозы облучения этого объекта $D_{i,k}$ от всех рассматриваемых радионуклидов i .

Полный вклад i -го радионуклида в мощность дозы облучения k -го референтного водного организма (кроме водоплавающих птиц) $D_{i,k}$, обитающего в исследуемом водном объекте, складывается из мощности дозы внутреннего облучения от радионуклида, инкорпорированного

в ткани и органы водного организма $D^{внутр}_{i,k}$, мощности дозы внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в воде $D^{внеш,вод}_{i,k}$, мощности дозы внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в воде и в донных отложениях $D^{внеш,дон}_{i,k}$

$$D_k = \sum_{i=1}^N ((DCF_{ik}^{внутр.} \times K_{ki} + DFC_{ik}^{внеш.} \times \alpha_k^{вод.}) \times C_i^{вод.} + 0,5 \times DCF_{ik}^{внеш.вод.} \times \alpha_k^{дон.} \times C_i^{дон.}), \quad (31)$$

где $DCF_{ik}^{внутр.}$, $DCF_{ik}^{внеш.вод.}$, $DCF_{ik}^{внеш.}$ – факторы дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения k -го объекта биоты от i -го радионуклида в воде, соответственно, (мкГр/ч)/(Бк/кг);

K_{ki} – коэффициент перехода радионуклидов в референтные организмы, Бк/кг сырой массы/ Бк/л воды сырой;

$C_i^{вод.}$, $C_i^{дон.}$ – удельная активность i -го радионуклида в воде и в донных отложениях, соответственно, Бк/кг;

$\alpha_k^{вод.}$, $\alpha_k^{дон.}$ – коэффициенты, учитывающие время, которое k -й референтный организм проводит в воде и вблизи дна, соответственно.

В случае если полученные результаты мощностей доз превышали установленные в подходе контрольные уровни, проводилась оценка денежного эквивалента совокупного размера возможного вреда окружающей среде [59].

Заключение по главе 3

В завершение главы 3 отметим, что описанные наработки позволяли:

1. Утверждать, что рассмотренные аспекты обоснования отнесения РАО к особым РАО, по мнению автора:

- сохранили букву и дух базовых принципов радиационной защиты человека и объектов живой природы;
- в полной мере соответствовали критериям отнесения РАО к особым, и предусмотренным ими требованиям соответствия действующим регулирующим обращение с РАО федеральным нормам и правилам, санитарным правилам в области обеспечения радиационной безопасности, а также законодательству Российской Федерации об охране окружающей среды;
- учитывали имеющиеся в распоряжении эксплуатирующих организаций данные и, одновременно, отсутствие ряда важных данных и оценок, которые ранее не требовались от эксплуатирующих организаций.

2. Предложить в качестве формы реализации и практического внедрения комплексного метода форму детализированного научно-технического пособия, которое:

- давало пошаговое описание действий по подготовке обосновывающих материалов;
- обеспечивало возможность расчета всех требующихся величин и характеристик.

3. Сформировать версию 2.0 пособия, основываясь на [55].

4. Обосновать как наиболее эффективную (по темпам подготовки, достигаемым целям и эффекту) форму апробации комплексного метода, а именно – подготовку коллективного издания с участием представителей всех заинтересованных сторон.

Привлечение большого количества специалистов к рассмотрению метода, его дополнению и развитию по отдельным направлениям побуждает к конкретизации вклада автора в разработку пособия (Таблица 3.14) с учетом таких общих для всех разделов позиций, как:

- разработка концепции формы и содержания комплектов материалов, обосновывающих отнесение РАО к особым;
- подготовка основного объема работ по вариантному формированию материалов с учетом замечаний и рекомендаций регулирующих органов;
- подготовка презентационных материалов для включения в пособие.

Таблица 3.14 – Вклад автора в разработку подходов и методики комплексного анализа безопасности

<i>Раздел пособия</i>	<i>Вклад автора</i>	<i>Специалисты и их вклад</i>
Общие положения	Формулировка предварительной версии и учет замечаний по структуре обосновывающих документов: «Обосновывающих материалов для отнесения РАО... к особым РАО»	Обсуждение основных тем: Линге И. И., Савкин М. Н., Абалкина И. Л., Дорогов В. И., Уткин С. С., Курындина Л. А., Крышев И. И., Бочкарев В. В., Непейпиво М. А., Щадилов А. Е., Репин В. С. Мокров Ю. Г.
Формирование раздела «Основание для разработки»	Формулировка подхода и разработка примеров	
1. Краткая характеристика объекта	Формулировка подхода и разработка примеров	
2. Соответствие РАО критериям отнесения к особым РАО по происхождению и местоположению	Формулировка подхода и разработка примеров	
3. Оценка принципиальной возможности локализации РАО в месте их	Формулировка предварительной версии и разработка подхода к проведению оценки периода потенциальной опасности накопленных РАО, на основании	Линге И. И., Савкин М. Н., Уткин С. С., Иванов В. А., Ведерникова М. В., Мызникова О. Г., Курындина Л. А., Бочкарев В. В.,

<i>Раздел пособия</i>	<i>Вклад автора</i>	<i>Специалисты и их вклад</i>
размещения	<p>действующего законодательства, а также определение расчетного периода для РАО, содержащих долгоживущие радионуклиды. Учет замечаний специалистов.</p> <p>Разработка примеров и таблиц.</p> <p>Формулировка нерадиационных характеристик РАО, которые требуется учитывать при обосновании.</p> <p>Разработка предварительного требования предварительного определения СЗЗ ПХРО и учет редакционных замечаний.</p> <p>Разработка подхода определения состава ПХРО в рамках проведения первичной регистрации РАО, определение основных факторов, позволяющих объединить существующие объекты в один ПХРО.</p>	Непейпиво М. А., Щадилов А. Е., Барчуков В. Г., Кочетков О. А.
4. Описание двух сценариев обращения с РАО	<p>Формирование предварительной версии, учет редакционных замечаний. Разработка рекомендаций и примеров.</p> <p>Справочные данные.</p>	
5. Оценка коллективных эффективных доз облучения	<p>Анализ проведенных работ на предприятиях отрасли и составление таблиц удельных дозозатрат.</p> <p>Разработана последовательность выполнения оценок коллективных эффективных доз облучения.</p> <p>Разработаны формулы проведения оценок коллективных эффективных доз облучения, с учетом нормативных документов и методик.</p>	<p>Разработка подходов к проведению оценки коллективной эффективной дозы облучения:</p> <p>Линге И. И., Савкин М. Н., Бочкарев В. В.</p>
6. Оценка рисков потенциального облучения	<p>Формирование предварительной версии, учет редакционных замечаний.</p> <p>Анализ вариантов возможных аварий при обращении с РАО, важных при обосновании отнесения РАО к особым РАО и формирование перечня основных аварийных ситуаций, которые требуется учесть при обосновании отнесения РАО к особым, с учетом имеющейся в организации документации (отчета по</p>	<p>Разработка подходов к проведению оценки рисков потенциального облучения:</p> <p>Линге И. И., Савкин М. Н., Бочкарев В. В.</p>

<i>Раздел пособия</i>	<i>Вклад автора</i>	<i>Специалисты и их вклад</i>
	радиационной безопасности, проектной документации и др.)	
7. Оценка затрат, связанных с захоронением РАО в месте их нахождения 8. Оценка затрат, связанных с удалением РАО	Формирование предварительной версии, учет редакционных замечаний. Анализ результатов проводимых работ на предприятиях отрасли по консервации ПХРО. Формирование общих характеристик покрывающего экрана и оценки затрат на отдельные виды работ Формирование удельных затрат на разные этапы консервации ПХРО, перевода в ПЗРО, разработана последовательность выполнения оценок с учетом текущей стадии жизненного цикла ПХРО (для варианта наличия проектной документации на консервации и ее отсутствия). Анализ результатов проводимых работ на предприятиях отрасли по извлечению и переработки РАО.	Разработка подходов к проведению оценки затрат, связанных с захоронением РАО в месте их нахождения: Линге И. И.
9. Оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения	Формирование предварительной версии. Учет предложений и доработка подхода. Формирование таблиц, содержащих данные, необходимые для проведения оценки совокупного размера возможного вреда окружающей среде, согласно разработанному подходу.	Разработка подходов к проведению оценки совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения: Крышев И. И., Курындина Л. А.
10. Обоснование отнесения к пункту размещения/консервации РАО	Формирование и разработка раздела.	
11. Заключение	Формирование и разработка раздела.	

Кроме этого, автором выполнены презентационные материалы, примеры проведения оценок критериальных показателей, которые были включены в пособие [59].

4 Апробация и результаты практического применения комплексного метода

Уже в конце 2013 года стартовали работы по апробации комплексного метода в эксплуатирующих организациях. Быстрым темпам апробации, а потом и массового применения комплексного метода способствовали:

Установленные Правительством Российской Федерации сроки проведения первичной регистрации [47]. В течение 2013–2014 гг. первичная регистрация была проведена в отношении 809 объектов размещения накопленных РАО. В соответствии с утвержденным Госкорпорацией «Росатом» порядком проведения первичной регистрации РАО организации по каждому объекту предоставляли комиссиям по проведению первичной регистрации пакет документов, содержащий сведения по имеющейся эксплуатационной, проектной документации на ПХРО, объему и характеристикам размещенных в нем накопленных РАО, в случае отнесения РАО к особым – обоснование.

Организационная и научно-техническая поддержка первичной регистрации со стороны Госкорпорации «Росатом». В рамках контрактов с Госкорпорацией «Росатом» была предусмотрена возможность экспертной поддержки эксплуатирующих организаций со стороны ведущих специалистов ИБРАЭ РАН, ФБУ «НТЦ ЯРБ» и ФМБЦ ФМБА.

Решения по внедрению проектного управления в ИБРАЭ РАН, в рамках которых был издан приказ директора ИБРАЭ РАН от 18 февраля 2014 г. № 15 «Об организации работ в рамках проекта по первичной регистрации РАО и инвентаризации ЯРОО»

Автор была определена руководителем группы управления проектом по первичной регистрации РАО. За ИБРАЭ РАН Госкорпорацией «Росатом» были закреплены работы по оказанию научно-технической поддержки более 100 организациям, в том числе тем, на территории которых размещены ПХРО особых РАО (ФГУП «ПО «Маяк», ФГУП ФЯО «ГХК», АО «ПО ЭХЗ», АО «УЭХК», АО «ЧМЗ», ПАО «ППГХО», АО «Концерн Росэнергоатом», ФГУП «РосРАО» и др.)

Это позволило организовывать оперативную поддержку эксплуатирующих организаций на этапах апробации и практического применения, концентрировать усилия на экспертизе основных соотношений, получаемых при подготовке обоснований, выдаче оперативных замечаний и извлечении уроков для будущего, предопределенного основным назначением метода.

4.1 Апробация комплексного метода

Апробация комплексного метода включала:

1. Углубленное рассмотрение с привлечением ведущих специалистов организаций отрасли Госкорпорации «Росатом» и регулирующих органов (Минприроды России; ФБУ «НТЦ ЯРБ»; ФГБУ «НПО «Тайфун»; ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России; ФБУН

НИИРГ имени профессора П. В. Рамзаева; ФГУП «ПО «Маяк»), основных материалов комплексного метода [55] и сопутствующих информационных материалов в единый методический материал, впоследствии получивший наименование – пособие [59].

2. Предварительную апробацию метода силами специалистов ИБРАЭ РАН на основе развернутых исходных данных по 2-м объектам: водоему-хранилищу ЖРО В-9 ФГУП «ПО «Маяк» и «Сооружению 313» (Шламонакопитель) АО «ПО ЭХЗ». По результатам апробации были сделаны положительные выводы, о том что: разработанные подходы отвечают отечественным регулирующим документам и международным рекомендациям, работоспособность метода проверена на ПХРО как ЖРО, так и ТРО. После этого была осуществлена рассылка версии 1.0 «Научно-технического пособия по подготовке обосновывающих материалов для принятия решения об отнесении РАО к особым РАО» в 18 эксплуатирующих организаций, включая АО Концерн «Росэнергоатом» и АО «ТВЭЛ», для рассмотрения и апробации.

3. Подведение итогов предварительной апробации пособия было проведено на отраслевом совещании 12–13 марта 2014 г. в ИБРАЭ РАН с участием представителей организаций отрасли: ФГУП «ПО «Маяк», ФГУП «ГХК», ОАО «ТВЭЛ», ОАО «УЭХК», ОАО «АЭХК», ОАО «НЗХК», ОАО «МСЗ», ОАО «СХК», ОАО «ЧМЗ», ОАО «ПО ЭХЗ», ФГУП «РосРАО», ФГУП «РАДОН», ОАО «АТОМРЕДМЕТЗОЛОТО», ОАО «ППГХО», ФГУП «НО РАО», Минобороны России, а также специалистов регулирующих органов: ФБУ «НТЦ ЯРБ», Ростехнадзор, Минприроды России, ФМБЦ им А. И. Бурназяна, ФГБУ «НПО «Тайфун».

4. Доработка пособия [54] и выпуск версии 2.0. Наибольших изменений потребовало рациональное ограничение временного периода рассмотрения вопросов опасности в случае наличия в отходах долгоживущих природных радионуклидов, уже раскрытое в подразделе 3.2

На основании результатов апробации и рассмотрения их на Научно-техническом совете Госкорпорации «Росатом» по направлению «Экологическая, ядерная и радиационная безопасность» после внесения всех полученных предложений и доработки подходов [54] была выпущена вторая версия пособия [59], которая письмом Директора по государственной политике в области обращения с РАО и ОЯТ Госкорпорации «Росатом» от 18 апреля 2014 г. № 1-2/9421 была рекомендована руководителям организаций отрасли к использованию в целях формирования обоснований отнесения РАО к особым в рамках проведения первичной регистрации.

В период с апреля 2014 г. началась работа по массовому применению пособия в эксплуатирующих организациях при научно-технической поддержке специалистами ИБРАЭ РАН.

4.2 Практическое применение комплексного метода

Уже в 2014 году комплексный метод начал применяться в эксплуатирующих организациях. Всего в период 2014–2015 годов с его использованием было разработано более 150 обоснований.

Кратко рассмотрим основные итоги применения комплексного метода, исходя из задач его развития. Напомню, что отнесение к особым по результатам первичной регистрации РАО – это лишь первая часть объектов. По многим объектам, отнесенным к пунктам долговременного хранения, в будущем неизбежно рассмотрение вопроса об отнесении к особым. Несмотря на большой объем применения метода в рамках первичной регистрации РАО решения по отнесению к особым и удаляемым были отложены для РАО объемом более 12 млн м³, размещенных в 84 ПХРО. В ряде случаев решения откладывались ввиду отсутствия критериальных обоснований, что, возможно, косвенно свидетельствовало о необходимости доработки метода.

Полученные в ходе первичной регистрации результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Комплексный метод обоснования безопасности и экологической приемлемости ПХРО на завершающей стадии жизненного цикла объединил подходы и методики проведения оценок разной природы с учетом изменения состояния ПХРО до окончания периода потенциальной опасности размещенных в них РАО. Метод не вызвал отторжения в эксплуатирующих организациях, что во многом объясняется традиционно широким спектром деятельности, ведущейся под координацией заместителей главного инженера по ядерной и радиационной безопасности.

2. Установление принципиальной возможности локализации РАО в месте их нахождения для РАО, содержащих природные радионуклиды, возможно только при рациональном ограничении периода рассмотрения. Любое рассмотрение вопросов миграции естественных «сверх» долгоживущих радионуклидов, в том числе урана-235 (период полураспада – 0,7 млрд лет), урана-238 (4,47 млрд лет), тория-230 (77 тыс. лет) практически бесперспективно, поскольку период потенциальной опасности отходов оказывается практически неограниченным, а любые сколь угодно малые скорости миграции приводят к неудовлетворительным результатам.

Так результаты миграции из эксплуатируемых хвостохранилищ показали, что первый пик концентрации радионуклидов в водоносном горизонте на границе С33 достигается в первые 100–150 лет после начала эксплуатации объектов, т.е. в период проведения административного контроля за объектом, значения годовых доз облучения населения при этом значительно ниже 10 мкЗв/год. Создание покрывающего экрана после окончания размещения

РАО приводит к значительному уменьшению выноса радионуклидов во вмещающую среду. В дальнейшем концентрация радионуклидов быстро спадает до выхода на плато. Возможно появление второго пика концентрации радионуклидов, который достигается в течение десятков тысяч лет после начала эксплуатации ПХРО, но полученные результаты показывают, что он не приведет к превышению УВ концентрации радионуклидов в воде водоносного горизонта и к превышению значения 10 мкЗв/год для населения.

Необходимо отметить, что в соответствии с международно-признанной практикой обращения с данными отходами в качестве конечного состояния объектов определен их перевод в пункты захоронения после окончания размещения РАО путем осушения чаши хвостохранилищ и создания дополнительных покрывающих барьеров безопасности.

3. Период потенциальной опасности долгоживущих техногенных радионуклидов значительно превышает 1 тыс. лет. В рамках выполненных обоснований показано, что пики концентраций некоторых долгоживущих радионуклидов (Am-241 , Pu-239) могут достигаться в течение 100 тыс. лет после начала эксплуатации объектов. Для короткоживущих радионуклидов пики концентраций приходятся в основном на первые 500–1000 лет, при этом проведенные оценки подтвердили, что индивидуальная доза населения не превысит 10 мкЗв/год.

4. Несмотря на то, что проведенные оценки принципиальной возможности локализации РАО в месте их нахождения выполнялись несколькими способами, они показали схожесть результатов.

В настоящее время АО «Гидроспецгеология» ведутся работы по разработке «объектового мониторинга состояния недр на предприятиях атомной отрасли» (ОМОН), который направлен на формирование системы регулярных наблюдений за изменением показателей состояния недр, почв, поверхностных вод и донных отложений водоемов, в том числе в районах расположения ПХРО. В системы ОМОН также будет включен блок прогнозирования, включающий модели, обеспечивающие прогнозные оценки миграции [98], в том числе с использованием геомиграционных и геофильтрационных моделей, таких как: Geon-2D/ Geon-3D/ Geon-3DM, Modflow, Seawat-200 и др.

На момент первичной регистрации РАО для задачи обоснования принципиальной возможности локализации РАО применялись полученные ранее долгосрочные прогнозы миграции радионуклидов, в том числе в рамках проектов консервации объектов (в основном программа «Ecolego» [99], используемая также ФБУ «НТЦ ЯРБ»).

Также использовались результаты уже проведенных работ по обоснованию долгосрочной безопасности, например, для водоема В-9 применялись данные работ мониторинга и прогнозирования загрязнения подземных вод вокруг водоема, полученные с помощью комплексов - Geon-2D/ Geon-3D/ Geon-3DM [100-102].

Для объектов, образовавшихся при использовании ядерных зарядов в мирных целях (МЯВ), помимо долгосрочной оценки дозовой нагрузки на население от ведения хозяйственной деятельности на границе СЗЗ объекта, также были рассмотрены сценарии использования воды из водоносного горизонта, расположенного непосредственно под хранилищем, для сельскохозяйственных нужд и постройки дома в месте размещения хранилища РАО. Полученные с помощью программы «Ecolego» результаты показали возможность перевода объектов в пункты захоронения в месте их нахождения, кроме этого, оцененные периоды потенциальной опасности, согласно формуле (16), не превышают 300 лет [103].

В случае если долгосрочные прогнозы миграции не были выполнены до первичной регистрации РАО, оценки проводились ИБРАЭ РАН с помощью программно-технического комплекса ОБОЯН, в который интегрирована программа Amber 5.7 [104], реализующая метод камерного моделирования, рекомендованная МАГАТЭ при оценке распространения радионуклидов. Процессы переноса между камерами определялись посредством задания коэффициентов переноса, выраженных в долях количества вещества, переносимого из одной камеры в другую в единицу времени. Получены динамики изменения концентраций радионуклидов в контрольных точках и оценки индивидуальных доз облучения населения на границе СЗЗ предприятий для разных возрастных групп, которые существенно ниже 10 мкЗв/год в течение всего периода потенциальной опасности отходов.

5. Установлена целесообразность определения состава и границ совокупностей ПХРО, которые до этого рассматривались отдельно.

В рамках подготовки обоснований, согласно рекомендациям комплексного метода, эксплуатирующими организациями были приняты решения о пересмотре состава и границ ряда ПХРО твердых РАО.

Например, ФГУП «ПО «Маяк» объединило в «Комплекс грунтовых могильников площадок размещения промышленных реакторов» 39 объектов, в «Комплекс грунтовых могильников радиохимического производства» – 87 объектов, в «Комплекс грунтовых могильников химико-металлургического производства» – 7 объектов. АО «СХК» в состав ПХРО «Сооружения площадки 16 бункерного типа» включила 4 объекта, в состав «Сооружения площадки 16 траншейного типа» – 6 объектов.

Данные решения позволят оптимизировать затраты и дозозатраты на работы по переводу объектов в заключительную стадию их жизненного цикла – ПЗРО.

6. Установлена целесообразность дальнейшего развития комплексного метода в части определения и установления границ СЗЗ самих пунктов размещения и консервации особых РАО.

В соответствии с комплексным методом организациям рекомендовалось установить СЗЗ будущих ПЗРО (подраздел 3.1), что не было выполнено в разработанных обоснованиях. В основном организации ограничивались ссылкой на то, что СЗЗ объектов будут установлены в проекте перевода в ПЗРО.

С учетом длительных сроков потенциальной опасности РАО, в особенности содержащих долгоживущие техногенные радионуклиды, необходимо установление границ СЗЗ. За 70 лет существования отрасли объекты, которые располагались в отдалении от городов, по прошествии времени оказывались внутри городской черты и в непосредственной близости от жилых домов. Например, НИЦ «Курчатовский институт», который был создан в 1943 г. на окраине г. Москва, но уже в конце XX века «могильники» РАО размещались на расстоянии 50–150 метров от жилых домов, что потребовало выполнение работ по их ликвидации в 2000-х гг.

Установление СЗЗ пунктов размещения особых РАО, которые бы учитывали долгосрочные прогнозы безопасности объектов, позволит исключить риски потенциального облучения населения в будущем.

7. Гибкие подходы, предусмотренные комплексным методом, к формированию сценариев консервации и удаления РАО полностью себя оправдали. Эксплуатирующие организации ориентировались на специфику и текущее состояние объекта и на данные проектной документации.

Например, в обосновании отнесения РАО к особым Теченского каскада водоемов ФГУП «ПО «Маяк» учитывалась уже существовавшая на тот момент стратегия длительной выдержки и последующего перевода объекта в ПЗРО донных отложений. На этапе длительной выдержки за счет естественных процессов, протекающих в водоемах, произойдет дезактивация объектов за счет седиментации, что позволило установить расчетные периоды значительно ниже 1000 лет [105–108].

Разработанный сценарий значительно отличается от сценариев консервации водоемов-хранилищ ЖРО АО «СХК», которыми предусмотрено проведение работ по удалению декантата и промывных вод, направляемых в глубинные пласты-коллекторы с последующей засыпкой акватории грунтом и устройством верхнего глиняного экрана. Перечисленные работы приведут к значительному снижению объема и активности РАО в объектах, а, следовательно, и периода потенциальной опасности РАО.

Подход к формированию сценариев, рекомендованный в комплексном методе, позволил разработать организациям сценарии для таких уникальных объектов как хвостохранилища, емкости-хранилища ЖРО, ПХРО твердых РАО, отличающиеся друг от друга состоянием барьеров безопасности, характеристиками РАО, способом размещения отходов и т.д.

В ряде случаев сами сценарии удаления РАО наглядно показывали нецелесообразность проведения работ по извлечению отходов.

Например, извлечение РАО их водоема-хранилища В-11 (объем донных отложений составляет 25 млн м³) даже с учетом возможного применения одновременно десяти установок по откачке донных отложений (разрабатывается ФГУП ФЯО «ГХК») займет более 500 лет. В рамках обоснования было сделано допущение, что работы будут остановлены через 260 лет, т.к. уровни удельной активности не превысят ПЗУА по Cs-137 и Sr-90. Таким образом, еще до переработки всего объема накопленных в объекте отходов они будут сняты с регулирующего учета.

8. Комплексный метод позволил провести оценки доз облучения при выполнении отдельных этапов, однако были установлены случаи явного завышения оценок доз при проведении мониторинга ПЗРО. Например, для оценки коллективных доз персонала при консервации хвостохранилища ПАО «НЗХК» были взяты данные по облучению специалистов группы внешнего дозиметрического контроля – около 0,33 мЗв/год. Эти последние данные использовались для оценок доз при проведении периодического радиационного контроля на объекте после его закрытия в течение расчетного периода – 300 лет. Результатом такого подхода стали коллективные дозы сотрудников дозиметрического контроля, почти в 10 раз превышающие дозы облучения при проведении работ по консервации объекта и его переводу в ПЗРО. Очевидно, что данная оценка носит консервативный характер. В ходе выполненных расчетов не учитывалось, что персонал дозиметрического контроля получает дозы не только проводя работы по мониторингу указанного хвостохранилища. Кроме этого, в оценке не отражается снижение МАЭД в месте проведения работ после консервации объекта, а также не учитывается тот факт, что периодический контроль может проводиться не ежегодно (например, раз в 10 лет). Несмотря на консерватизм оценки дозозатрат, связанной с консервацией ПХРО, она более чем в 6 раз меньше оценки коллективной дозы персонала, связанной с удалением РАО.

9. Полученные оценки показали, что извлечение РАО из ПХРО сопровождается значительно большими дозозатратами, чем работы по консервации объектов.

В ходе формирования обоснований эксплуатирующими организациями были выполнены оценки коллективных эффективных доз облучения персонала и населения, которые показали, по сути, что извлечение РАО приведет к значительно большим дозозатратам персонала.

Для ряда объектов, например, водоемов-хранилищ АО «СХК» и ПУГРы и емкостей-хранилища ЖРО ФГУП ФЯО «ГХК», консервация предполагает проведение работ по извлечению жидкой фазы или части ТРО. Также при оценке дозозатрат принимались во внимание особенности и продолжительности этапов проведения работ, таких как длительная

выдержка под наблюдением, что привело к значительным разбросам полученных оценок доз (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Примеры сравнения дозозатрат

Объект	Коллективные эффективные дозы облучения персонала	
	При удалении РАО	При консервации
В-2	более 38	менее 0,4
В-3	более 10	менее 2,23
В-4	более 19	менее 0,7
В-6	более 50	менее 0,7
В-9	более 756	менее 3,81
В-10	более 8	менее 0,12
В-11	более 6	менее 0,12
В-17	более 68	менее 4
Б-25	19,76	1,92
Водохранилища № 3, 4	9946,36	370,84
Пульпохранилище	269,33	13,01

Сопоставление данных по разным объектам не позволило выявить какие-либо базовые соотношения между дозозатратами при консервации ПХРО/удалении РАО и объемами накопленных РАО или площадью хранилищ. Это обусловлено, во-первых, неполнотой оценки доз, во-вторых, значительными различиями в сценариях перевода объектов в ПЗРО, в-третьих, характеристиками мощностей доз в местах проведения работ.

Приведенные в таблице примеры, показывают, что извлечение РАО приведет к значительно большим дозозатратам персонала. Разность в оценках дозозатрат при удалении РАО обусловлена тем, что расчеты были прерваны на разных этапах. Так, для ряда объектов оценки доз, связанные с удалением РАО, были выполнены только для одного этапа.

Необходимо отметить, что развитие технологий неизбежно приведет к снижению дозозатрат персонала, как при проведении работ по консервации, так и при удалении, что связано с применением, например, дистанционно управляемых машин [109]. За счет их использования при ВЭ реакторов МР и РФТ НИЦ «Курчатовский институт» удалось предотвратить более коллективную дозу персонала более чем на 105 Зв. При этом максимальная годовая индивидуальная доза внутреннего облучения персонала не превысила 50 мкЗв/год [110].

Во всех обоснованиях показано отсутствие воздействия объектов на население выше 10 мкЗв/год.

9. Оценки рисков потенциального облучения формировались в основном на данных по рискам транспортных и грузоподъемных операций. При учете внешних воздействий на ПХРО вариант захоронения на месте оказывался более выигрышным по причине существенно меньшего срока нахождения РАО без барьеров безопасности. После консервации ПХРО должен отвечать тем же требованиям безопасности, что и централизованный ПЗРО.

Критерий проведения оценок рисков для двух сценариев является, по сути, избыточным, т.к. простые рассуждения приводят к выводу, что риски при извлечении всегда будут существенно выше, чем при захоронении РАО на месте. С учетом объемов накопленных РАО, географии размещения объектов хранения РАО и будущих централизованных ПЗРО, операций по извлечению РАО, погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки по дорогам общего пользования повышается риск транспортных аварий, а также дополнительного облучения населения. Кроме этого, как отмечено в подразделе 1.3, перемещение больших объемов РАО по дорогам общего пользования повышает также социальную напряженность.

В отношении рисков после перевода объектов в безопасное состояние, следует отметить, что с учетом отсутствия на сегодняшний день действующих ПЗРО для всех классов удаляемых РАО [48], провести оценки рисков потенциального облучения после закрытия пункта централизованного захоронения не представляется возможным.

Кроме этого, с учетом проведенных расчетов миграции радионуклидов из ПХРО для ряда объектов даже без проведения дополнительных работ риски потенциального облучения населения пренебрежимо малы (Рисунок 4.1).

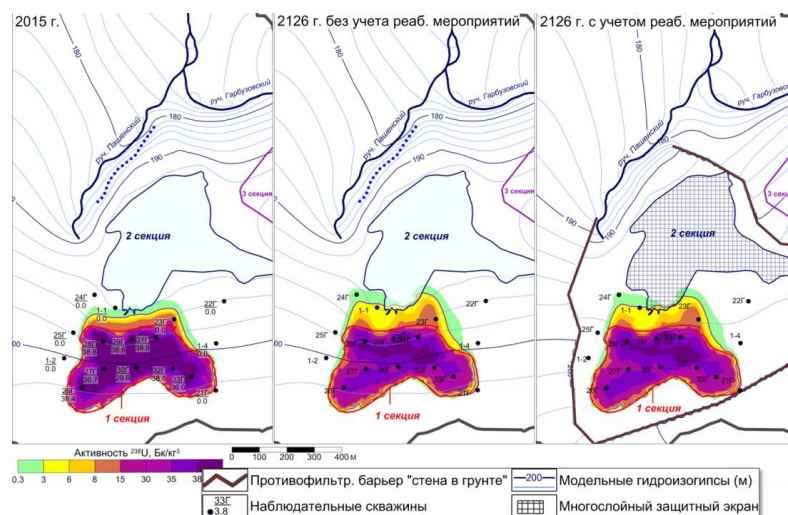


Рисунок 4.1 – Современный и прогнозные (на 100 лет) ореолы ^{238}U в подземных водах ПАО «МСЗ» [111]

10. Результаты оценок совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения показали практически полное отсутствие какого-либо влияния данного параметра на результаты критериальных оценок.

Для большинства ПХРО мощности дозы облучения организмов биоты на прилегающей территории не превышают БУОБ, соответственно величина ущерба в соответствии с разработанным подходом была положена нулевой. Только для нескольких объектов получены ненулевые оценки вреда: водоемов-хранилищ В-9 и В-17 и комплексов могильников ФГУП «ПО «Маяк», хвостохранилищ АО «ЧМЗ». Даже в этих случаях денежная оценка вреда не превышает 1% от стоимости перевода объекта в ПЗРО, а в ряде случаев – меньше 0,01%.

Вред от водоемов-хранилищ ЖРО и хвостохранилищ обусловлен уже сформировавшейся на момент проведения оценок ситуацией на площадке объектов, в то время как для грунтовых могильников была разработана и просчитана гипотетическая ситуация дополнительного загрязнения территории в ходе проведения работ по консервации.

Таким образом, введение критерия – вред окружающей среде при принятии решения о дальнейшем обращении с накопленными РАО является избыточным и никак не влияет на конечную стадию жизненного цикла объекта.

12. Установленный Минприроды тариф на захоронение удаляемых РАО [52] сводит задачу обоснования более высокой стоимости затрат, связанных с удалением РАО, по сути, к выполнению только оценки затрат на передачу накопленных РАО национальному оператору.

Только для нескольких объектов оценок затрат на захоронение оказалось недостаточно, чтобы обосновать отнесение РАО к особым, и потребовалось выполнить оценки на другие этапы, связанные с удалением РАО.

Дальнейшее развитие технологий дистанционного обращения с РАО позволит выполнять работы с меньшими дозозатратами персонала, и, возможно, при развитии рынка оказания услуг специализированными организациями и с меньшими финансовыми затратами.

13. Проведение первичной регистрации РАО сопровождалось реализацией практических мероприятий ФЦП ЯРБ, в том числе по удалению РАО. Так, в 2015 году были полностью завершены работы по удалению накопленных отходов и ВЭ регионального хранилища РАО (сооружение 227) в г. Обнинск.

Основной объем работ выполнялся в 2014–2015 гг., помимо подготовки площадки сооружения 227 (срезка растительного слоя грунта, планировка территории с разработкой грунтов, устройство сплошной асфальтобетонной подъездной дороги), выполнены работы по оснащению, монтажу и пуско-наладке технологического оборудования, модульных систем инженерного обеспечения безопасности работ, систем электроснабжения и освещения, систем радиационного контроля, проведен монтаж стальных тентовых конструкций. В 2015 году было

завершено извлечение и кондиционирование РАО (включая загрязненный грунт) активностью $5 \cdot 10^{10}$ Бк, выполнена ликвидация емкостей № 1, 2, 3, 4 и 5. Проведена реабилитация территории (6000 м^2), выполнен демонтаж защитного укрытия и модульных систем инженерного обеспечения безопасности работ. Суммарный объем финансирования мероприятия составил 360 млн руб. Усредненная стоимость работ по извлечению и кондиционированию РАО составила по итогам мероприятия около 100 тыс. руб./ м^3 без учета стоимости захоронения РАО [112].

Таким образом, порядок приведенных в комплексном методе оценок удельных затрат, связанных с извлечением РАО, совпадает со значением, полученным в ходе выполнения практических работ. Отличие в 2–3 раза не значительно в ходе выполнения обоснований и не влияет на результаты обоснований.

14. В результате выполнения оценок по более чем 150 объектам существенно расширены представления о стоимости работ по удалению РАО в рамках полной ликвидации ядерного наследия. Оценка стоимости извлечения РАО и последующего обращения с ними превышает 10 трлн руб. Эффективность отнесения РАО к особым представлена в приложении 1.

Полученные эксплуатирующими организациями оценки показывают, что постановка цели по введению понятия «особые РАО» не только обоснована с позиций безопасности, но единственно возможна по объему требуемых ресурсов.

15. Получены обоснования чрезмерного консерватизма критериев отнесения РАО к особым РАО в части дополнительных ограничений на местоположение и происхождение РАО.

Выполненное в 2014 г. ПАО «МСЗ» обоснование отложенного решения в отношении трех хвостохранилищ РАО, размещенных внутри г. Электросталь, наглядно показывает, что проведение работ по удалению РАО сопряжено как с высокими дозозатратами, которые более чем на 20 чел.-Зв превышают дозозатраты при консервации объекта, так и финансовыми затратами, которые более чем на 90 млрд руб. превышают необходимые затраты на консервацию. Также показано, что проведение работ по извлечению и транспортировке РАО к централизованному пункту захоронения будет сопряжено с высокими рисками.

Выполненные автором оценки для ПХРО Кирово-Чепецкого отделения ФГУП «РосРАО» и хвостохранилища бывшего предприятия «Алмаз», также показали, что отнесение накопленных в них 11 млн м^3 отходов к удаляемым, приведет к значительным дозозатратам (более 40 чел.-Зв), финансовым затратам (более 415 млрд руб.) и к высоким рискам потенциального облучения (более $0,3 \text{ год}^{-1}$). В то время как консервация потребует значительно меньших как дозозатрат (менее 2,5 чел.-мЗв), так и финансовых затрат (менее 3,65 млрд руб.) и будет сопровождаться пренебрежимо низкими значениями рисков. Другими словами,

инициированные отнесением к удаляемым РАО работы на рассмотренных объектах не соответствуют принципам радиационной защиты.

После рассмотрения результатов выполненных оценок на заседании Научно-технического совета № 10 Госкорпорации «Росатом», было решено: *«признать юридическую неправомерность отнесения к особым РАО объектов размещения накопленных РАО на площадках ОАО «МСЗ», Кирово-Чепецкого отделения ФГУП «РосРАО», бывшего предприятия «Алмаз», консервация которых на месте их размещения удовлетворяет всем требованиям безопасности, предусмотренным ПП № 1069, за исключением пункта в)... В рамках первичной регистрации, необходимо отнести данные объекты к пунктам долговременного хранения, решение по отнесению РАО к особым или удаляемым необходимо отложить».*

Также к особым РАО по формальным ограничениям не могут быть отнесены отходы, размещенные в следующих объектах:

- «Могильники № 1 и № 2» Режевского района Свердловской области, содержащие более 40 тыс. м³ отходов, образовавшихся при добыче тория-232, размещены в п. Озерный на берегу р. Озерная;
- могильники ФГУП «Радон» (более 120 тыс. м³ РАО), РАО не удовлетворяют критерию на происхождение;
- ПХРО РАО АО «Соликамский магниевый завод» (объем более 120 тыс. м³), РАО не соответствуют критерию на происхождение;
- «Хранилище твердых радиоактивных отходов Центральной химической лаборатории» АО «Норильский комбинат», размещен в г. Норильск, завершены работы по консервации [113].

Таким образом, можно смело утверждать, что установленные критерии на местоположение и происхождение РАО не только ужесточают критерии отнесения РАО к особым, утвержденные ст. 3 и ст. 26 № 190-ФЗ, но и не соответствуют основному принципу обоснования деятельности в системе радиационной защиты. Взвешивание пользы и вреда при принятии решения о заключительной стадии жизненного цикла пункта хранения особых РАО заменено на доказательство более безопасного и экономически выгодного способа захоронения РАО.

Для перевода пунктов хранения особых РАО в ПЗРО и выполнения обязательств государства по окончательному захоронению всех накопленных РАО [3] необходимо пересмотреть критерии отнесения РАО к особым [48]. Рекомендуется исключить из них избыточные требования к происхождению РАО и местоположению ПХРО, а также к проведению оценок рисков потенциального облучения и вреда окружающей среде. Данные

изменения позволят привести критерии отнесения РАО к особым в соответствие со ст. 3 и ст. 26 № 190-ФЗ [4].

16. Полученные эксплуатирующими организациями в ходе первичной регистрации оценки финансовых и дозовых затрат легли в основу обоснований включения мероприятий по консервации объектов в сформированную ФЦП ЯРБ-2 [114].

В период 2016–2030 гг. планируется выполнить работы по консервации следующих пунктов размещения особых РАО: хвостохранилище ПАО «НЗХК», водоемы-хранилища ЖРО АО «СХК» (Б-1, Б-25, Пульпохранилище) и ФГУП «ПО «Маяк» (В-17), ПХ ТРО АО «СХК» (ПХТРО № 1 – 6, Сооружение площадки 16 бункерного типа) и ФГУП «ПО «Маяк» (комплекс грунтовых могильников радиохимического производства), а также работы по консервации ПУГРов ФГУП ФЯО «ГХК» и АО «ОДЦ УГР» и др.

4.3 Перспективы развития комплексного метода

1. Отложенные решения.

В ходе первичной регистрации по 16-ти объектам, которые соответствуют критериям на местоположение и происхождение [48], не были выполнены обоснования отнесения РАО к особым (Таблица 4.2). В основном причиной отсутствия обоснований являлся тот факт, что первичная регистрация была проведена в организациях до разработки пособия.

Таблица 4.2 – Пункты долговременного хранения РАО [115]

<i>№</i>	<i>Краткое наименование организации</i>	<i>Наименование пункта хранения/хранилища РАО</i>	<i>Решение отложено до (год)</i>
1.	АО «ГНЦ НИИАР»	Хранилище низкоактивных ТРО (сооружение 178)	2018
2.	АО «ГНЦ НИИАР»	Хранилище средне и высокоактивных ЖРО (здание 135)	2020
3.	АО «ГНЦ НИИАР»	Хранилище средне и высокоактивных ЖРО (здание 135А)	2020
4.	АО «ГНЦ НИИАР»	Хранилище среднеактивных ТРО (сооружение 140)	2018
5.	ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ»	Площадка 14	2017
6.	ФГУП «РФЯЦ –	Сооружение 137/6	2018

<i>№</i>	<i>Краткое наименование организации</i>	<i>Наименование пункта хранения/хранилища РАО</i>	<i>Решение отложено до (год)</i>
	ВНИИЭФ»		
7.	ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ»	Здание 121/6	2018
8.	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»	Центральный зал, здание 75	2025
9.	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»	Помещение 128, здание 52 – горячая лаборатория (здания 105)	2043
10.	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»	Пункт хранения, РИИК "Топаз" (здание 224)	2018
11.	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»	Пункт хранения, ИР АМ (здание 51 (здание 102))	2083
12.	АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»	Пункт хранения, ИР БР - 10 (здание 85 (здание 170))	2053
13.	Нововоронежская АЭС	ХТРО № 14	2020
14.	ФГУП «НО РАО»	Здания 760, 760а, резервуары 761, 761а "Полигона "Северный"	2021
15.	ФГУП «НО РАО»	Об.353г (хранилище ЖРО)	2021
16.	ФГУП ФЯО «ГХК»	Объект 354а (бассейн-хранилище ЖРО)	2035

Для ряда объектов важно формирование обоснования отнесения РАО к особым для выполнения работ по их консервации. Особенно критично данная задача стоит перед объектами, работы по консервации которых включены в мероприятия ФЦП ЯРБ-2 в период 2016–2030 гг.

2. В соответствии со ст. 26 № 190-ФЗ перечни пунктов хранения особых РАО должны пересматриваться не реже чем один раз в десять лет с учетом изменений критериев отнесения РАО к особым РАО и технологий обращения с отходами.

Систематизация и анализ получаемых в ходе выполнения работ на объектах наследия позволит провести повторные оценки критериальных параметров через десять лет, при этом, с учетом уже полученного в ходе практического применения комплексного метода опыта,

потребуется значительно меньшая подготовка на согласование подходов с заинтересованными сторонами, а также значительно меньшие трудозатраты со стороны эксплуатирующих организаций.

За десять лет должны получить свое развитие геофильтрационное и геомиграционное моделирование, что позволит выполнить оценки единым подходом, что обеспечит более прозрачные оценки возможности локализации РАО в месте их нахождения.

3. По результатам первичной регистрации, как указано выше, к пунктам долговременного хранения РАО, в отношении которых решение было отложено, были отнесены объекты Билибинской АЭС. Данное решение было обосновано тем, что в разработанной ФГУП «ФЦЯРБ» объектовой концепции ВЭ первого-четвертого энергоблоков Билибинской АЭС оптимальным вариантом ВЭ признано «немедленное захоронение на месте без периода сохранения под наблюдением». Только для этой электростанции Концерна «Росэнергоатом» предусмотрено захоронение на месте. С учетом того факта, что не разработана окончательная документация, решение по пунктам хранения было отложено.

Данный вариант ВЭ АЭС предусматривает демонтаж, фрагментацию, дезактивацию РАО с короткоживущими нуклидами с последующим захоронением в конструкциях главного корпуса. Долгоживущие РАО (радиоактивный графит) извлекаются, упаковываются и вывозятся в ПЗРО, расположенный рядом с площадкой АЭС. ПЗРО на месте Билибинской АЭС создается путем формирования следующих барьеров безопасности:

- размещение РАО в фундаментных конструкциях главного корпуса;
- возведение над ними железобетонного «саркофага»;
- засыпка «саркофага» глиняно-песчано-гравийными материалами с организацией водоупорных слоев [116].

Помимо накопленных РАО на АЭС при ВЭ блоков образуются значительные объемы отходов, в том числе ОНРАО. По оценкам [116] при ВЭ блока ВВЭР-440 образуется до 9000 тонн бетона, 500 тонн металлоконструкций, 4000 тонн оборудования. По проведенным оценкам [39] более 70% бетона будет отнесено к промышленным отходам с повышенной удельной активностью, либо к ОНРАО.

Согласно 27 № 190-ФЗ, организациям по решению Правительства России разрешается осуществлять захоронение ОНРАО в пунктах захоронения на используемых такими организациями территориях. В 2015 г. решением Правительства России от 7 декабря 2015 г. № 2499-р на площадках АО «Росэнергоатом», и еще на территории 11 организаций отрасли, разрешается размещать ПЗРО ОНРАО. Таким образом, получено подтверждение

представленных выше обоснованных доводов о целесообразности создания ПЗРО в непосредственной близости от мест их образования.

Размещение объектов окончательной изоляции ОНРАО на площадках АЭС, соответствует международному опыту, а также рекомендациям МАГАТЭ.

В пользу данного выбора можно указать факт того, что на территории АЭС размещается сразу несколько блоков с разными сроками ввода и ВЭ. Сроки эксплуатации пункта захоронения короткоживущих РАО на территории соизмеримы со сроками нахождения на площадке организации по эксплуатации АЭС. Таким образом, практически в течение всего периода потенциальной опасности РАО за объектом окончательной изоляции будет гарантировано проводиться радиационный контроль и обеспечиваться физическая защита.

Для варианта обоснования строительства пункта захоронения ОНРАО на территории АЭС возможно применение комплексного метода.

4. В ходе первичной регистрации к удаляемым РАО было отнесено более 705 тыс. м³ РАО, удаление указанных объемов РАО приведет к значительным финансовым затратам – более 200 млрд руб., и потребует значительного развития инфраструктуры. При принятии решений о выборе способа захоронения данных отходов следует рассматривать и сопоставлять разные варианты проведения работ: передача национальному оператору в централизованные ПЗРО, создание ПЗРО на территории организации, длительная выдержка в местах размещения. Разработанный комплексный метод может быть успешно использован для указанных целей и для обоснования выбранного способа обращения с РАО для представления заинтересованным сторонам, в том числе общественности.

5. В отличие от загрязненных территорий, находящихся на площадках эксплуатирующих организаций, учет которых ведется в рамках СГУК РВ и РАО, и работы по реабилитации которых проводятся как в рамках ФЦП ЯРБ, так и силами организаций, на территории России размещены бесхозные объекты и загрязненные территории. При принятии решения о способе проведения реабилитационных работ рекомендуется применять комплексный метод, который на основании оценок миграции радионуклидов, коллективных эффективных доз, рисков и финансовых затрат позволит принять оптимальное решение по варианту проведения работ.

Заключение к главе 4

В рамках выполнения работ по оказанию научно-технической поддержки организаций отрасли при проведении первичной регистрации РАО в 2014 г. разработанный комплексный подход был применен более 150 раз, из них более 70 – в отношении ПХРО организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты.

В рамках комплексного метода обоснования безопасности и экологической приемлемости ПХРО впервые применены и обеспечены информационно-методическим

наполнением все базовые принципы радиационной защиты: обоснование, оптимизация и нормирование.

Результаты обоснований, полученных с помощью комплексного метода доказали практическую возможность применения крайне консервативного подхода при оценке совокупного размера возможного вреда окружающей среде.

Комплексный метод в дальнейшем может быть использован для обоснования отнесения РАО к особым в отношении объектов, по которым в рамках первичной регистрации РАО было принято отложенное решение.

Показана необходимость развития комплексного метода по следующим направлениям:

- принятие решений о безопасном и экологически приемлемом способе окончательной изоляции низкоактивных и ОНРАО, образующихся как при эксплуатации, так и при ВЭ АЭС;
- развитие подхода оценки совокупного размера возможного вреда окружающей среде с учетом других нерадиационных характеристик РАО;
- разработка метода выделения границ СЗЗ пункта хранения особых РАО на основании долговременного прогноза миграции радионуклидов.

Заключение

В течение 2013–2014 гг. первичная регистрация была проведена в отношении 809 объектов размещения накопленных РАО. В соответствии с утвержденным Госкорпорацией «Росатом» Порядком проведения первичной регистрации РАО организации по каждому объекту предоставляли комиссиям по проведению первичной регистрации пакет документов, содержащий сведения по имеющейся эксплуатационной, проектной документации на ПХРО, объему и характеристикам размещенных в нем накопленных РАО, в случае отнесения РАО к особым – обоснование.

Обоснования выполнялись в соответствии с разработанным комплексным методом, материалы которого были рассмотрены и согласованы, результаты, полученные на основании его применения, согласованы всеми заинтересованными сторонами, в том числе органами государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии.

Для обоснования отнесения РАО к особым было разработано 70 обоснований в соответствии с разработанным методом, а также 83 обоснования для объектов, образовавшихся при использовании ядерных зарядов в мирных целях (Рисунок 5.1).

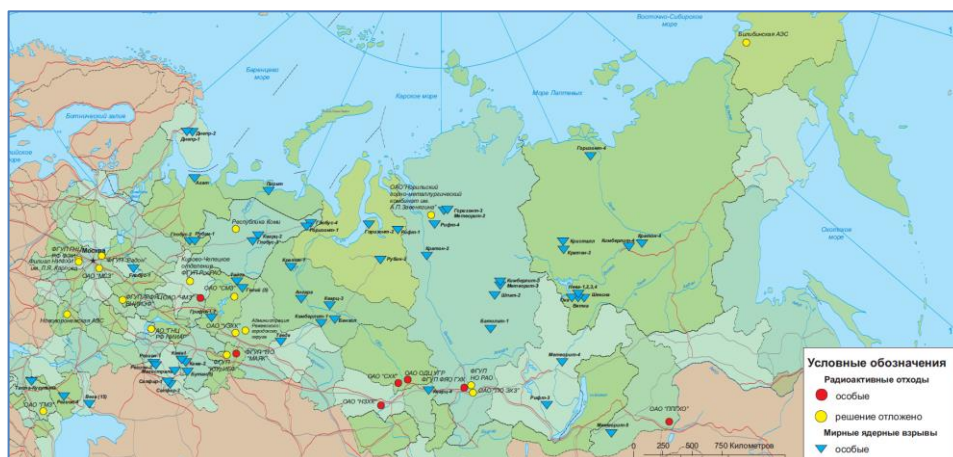


Рисунок 5.1 – Размещение пунктов хранения особых РАО, а также пунктов долговременного хранения РАО, в отношении которых принято отложенное решение

В соответствии с актами первичной регистрации РАО к накопленным отходам отнесено 553,5 млн м³ РАО, из них 60 млн м³ размещены в пунктах глубинного захоронения и 11 млн м³ РАО образовались в результате проведения мирных ядерных взрывов (Таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Объемы накопленных РАО (по всем пунктам хранения накопленных РАО)*

Агрегатное состояние	Накоплено всего, млн м ³	Захоронено, млн м ³	Особые, млн м ³	Решение отложено, млн м ³	Удаляемые РАО, тыс. м ³
ТРО	71,8	-	59,4	11,9	532,6
ЖРО	470,3	60,2	409,8	0,1	171,3
РАО МЯВ	11,4	-	11,4		1,7
Всего:	553,5	60,2	480,6	12,0	705,6

* Указанные в таблице значения содержат погрешность, связанную с тем, что в актах первичной регистрации объемы РАО представлены в форме: «_ _ , Е_ _ куб. м».

На основании проведенных обследований ПХРО и собранной и в ходе первичной регистрации РАО информации приняты решения о способе окончательной изоляции отходов в отношении каждого объекта – захоронение на месте или удаление РАО. Более 99% по объему от всех накопленных ЖРО, размещенных в приповерхностных ПХРО, и более 83% ТРО, размещенных в ПХРО организаций, отнесены к особым РАО.

Ограничения на местоположение и происхождение отходов для отнесения РАО к особым, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069, являются избыточными для исторических отходов и не позволили отнести более 12 млн м³ РАО к особым.

Необходимо отметить, что к пунктам хранения особых РАО относились объекты, созданные в основном 50–60-е гг. XX века. Именно в начале создания атомной энергии отсутствие технологий обращения с РАО привело к накоплению объектом значительных отходов (Рисунок 5.2).

Комплексные обоснования безопасности отнесения РАО к особым выполнялись организациями, в чьем ведении и хозяйственном управлении находятся ПХРО, при научно-технической поддержке ИБРАЭ РАН, в соответствии с разработанными подходами. Для МЯВ, обоснования выполнялись АО «ВНИПИпромтехнологии».

После разработки обоснования рассматривались экспертными организациями (ФБУ «НТЦ ЯРБ», ИБРАЭ РАН, ФМБЦ им А. И. Бурназяна ФМБА России). Непосредственно при проведении первичной регистрации все материалы рассматривались межведомственными комиссиями, сформированными Госкорпорацией «Росатом», в соответствии с [47].

Даже с исключением из рассмотрения объектов, извлечение РАО из которых никогда не предполагалось (водоема В-9, Теченского каскада водоемов и хвостохранилищ ОАО «ППГХО»), предотвращенные расходы будущих периодов по перечисленным объектам

превышают 260 млрд руб. и уменьшают дозозатраты будущих периодов минимум на 50 чел.-Зв (ПРИЛОЖЕНИЕ А) [117].

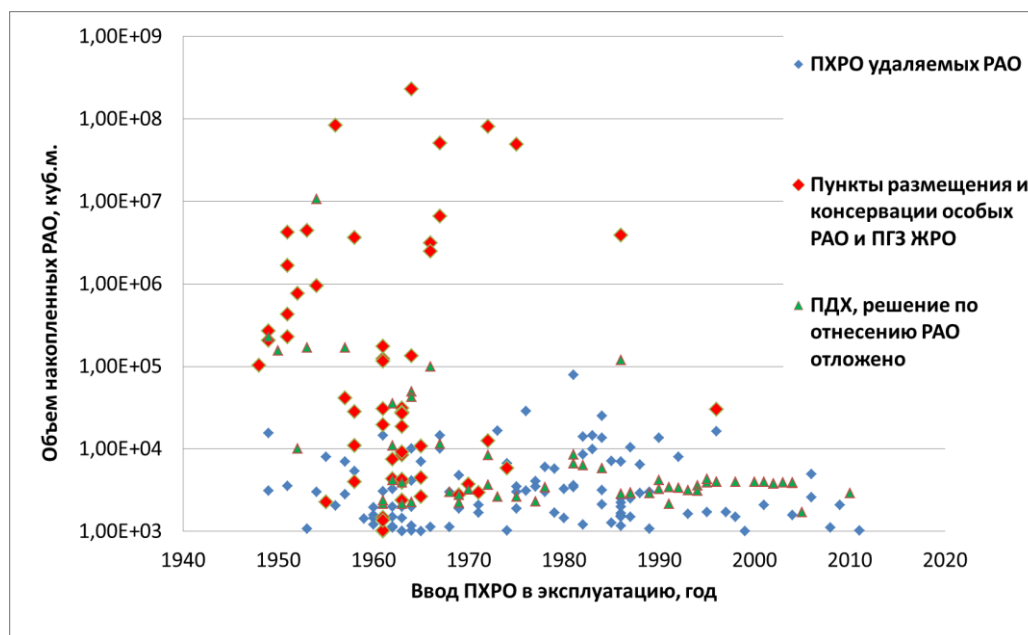


Рисунок 5.2 – Объемы накопленных РАО, размещенные в ПХРО, в зависимости от даты ввода в эксплуатацию

Основная цель диссертационного исследования – разработка детализированного комплексного метода, достигнута.

В ходе разработки комплексного метода были решены следующие задачи:

- определены основные принципы, подходы и допущения, достаточные для обоснования безопасности и экологической приемлемости пунктов хранения РАО в случае их захоронения на месте (отнесения РАО к особым РАО);
- разработаны способы формирования альтернативных сценариев обращения с РАО и алгоритмы оценки критериальных параметров (коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения, расходов на удаление РАО и захоронение их в месте нахождения, совокупного размера возможного вреда окружающей среде);
- систематизированы имеющиеся и выработаны новые подходы к определению недостающих данных для оценки критериальных параметров;
- обеспечена экспертная поддержка эксплуатирующих организаций при проведении первичной регистрации РАО и подведении её итогов в части отнесения РАО к особым.

Список сокращений

АО «АЭХК»	— Акционерное общество «Ангарский электролизный химический комбинат»
АО «ГМЗ»	— Акционерное общество «Гидрометаллургический завод»
АО «ГНЦ НИИАР»	— Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации Научно-исследовательский институт атомных реакторов
АО «ГНЦ РФ–ФЭИ»	— Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А. И. Лейпунского»
АО «Концерн Росэнергоатом»	— Акционерное общество «Концерн Росэнергоатом»
АО «ОДЦ УГР»	— Акционерное общество «Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых реакторов»
АО «ПО ЭХЗ»	— Акционерное общество «Производственное объединение «Электрохимический завод»
АО «СХК»	— Акционерное общество «Сибирский химический комбинат»
АО «УЭХК»	— Акционерное общество «Уральский электрохимический комбинат»
АО «ЧМЗ»	— Акционерное общество «Чепецкий механический завод»
АПЛ	— атомные подводные лодки
АЭС	— атомная электростанция
ВАО	— высокоактивные радиоактивные отходы
ВЭ	— вывод из эксплуатации
Госкорпорация «Росатом»	— Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»
ЕГС РАО	— Единая государственная система обращения с радиоактивными отходами
ЖРО	— жидкие радиоактивные отходы
ИБРАЭ РАН	— Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук
КИРО	— комплексное инженерное и радиационное обследование
МАГАТЭ	— Международное агентство по атомной энергии
МАЭД	— мощность амбиентного эквивалента дозы
Минприроды России	— Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
МКРЗ	— Международная комиссия по радиологической защите
МЯВ	— мирные ядерные взрывы
НАО	— низкоактивные радиоактивные отходы
НИЦ «Курчатовский	— Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

институт»	
НПО «Гайфун»	— Научно-производственное объединение «Гайфун» Федеральной
Росгидромета	службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
НРБ	— Нормы радиационной безопасности
НТС	— Научно-технический совет Государственной корпорации по атомной
	энергии «Росатом»
ОИАЭ	— объект использования атомной энергии
ОНРАО	— очень низкоактивные радиоактивные отходы
ОСПОРБ	— основные санитарные правила обеспечения радиационной
	безопасности
ОЯТ	— отработавшее ядерное топливо
ПАО «МСЗ»	— Публичное акционерное общество «Машиностроительный завод»
ПАО «НЗХК»	— Публичное акционерное общество «Новосибирский завод
	химконцентратов
ПАО «ППГХО»	— Публичное акционерное общество Приаргунское производственное
	горно-химическое объединение
ПГЗ ЖРО	— пункт глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов
ПЗРО	— пункт захоронения РАО
ПЗУА	— предельные значения удельной активности
ПХРО	— пункт хранения
РАО	— радиоактивные отходы
РБ	— руководство по безопасности
РВ	— радиоактивные вещества
РН	— радионуклид
САО	— среднеактивные радиоактивные отходы
СГУК РВ и РАО	— система государственного учета и контроля радиоактивных веществ и
	РАО
СЗЗ	— санитарно-защитная зона
США	— Соединенные Штаты Америки
ТРО	— твердые радиоактивные отходы
УА	— удельная активность
ФБУ «НТЦ ЯРБ»	— Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по
	ядерной и радиационной безопасности»
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ	— Федеральное государственное бюджетное учреждение.
им. А. И. Бурназяна	Государственный научный центр Российской Федерации.
ФМБА России	Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна.
ФГУП «НО РАО»	— Федеральное государственное унитарное предприятие «Национальный
	оператор по обращению с радиоактивными отходами»

ФГУП «ПО «Маяк»	— Федеральное государственное унитарное предприятие «Производственное объединение «Маяк»
ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»	— Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно- исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина»
ФГУП «РФЯЦ – ВНИИЭФ»	— Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр Всероссийский научно- исследовательский институт экспериментальной физики»
ФГУП ФЯО «ГХК»	— Федеральное государственное унитарное предприятие Федеральная ядерная организация «Горно-химический комбинат»
ФЗ	— Федеральный закон
ФМБА России	— Федеральное медико-биологическое агентство
ФЦП	— Федеральная целевая программа
ЯОК	— ядерный оружейный комплекс
ЯРБ	— ядерная и радиационная безопасность
ЯРОО	— ядерно и радиационно опасный объект

Список литературы

1. IAEA 2006. Fundamental Safety Principles. IAEA Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna (2006). На рус.яз. Основопологающие принципы безопасности. Серия изданий по безопасности № SF-1. МАГАТЭ, Вена (2007).
2. Федеральный закон от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии».
3. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами от 5 сентября 1997 г. Ратифицирована Российской Федерацией 4 ноября 2005 г. Собрание законодательства Российской Федерации, 2005, № 45, ст. 4587.
4. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
5. НП-055-14. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности.
6. НП-019-2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности.
7. НП-020-2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности.
8. НП-021-2000. Обращение с газообразными радиоактивными отходами. Требования безопасности.
9. НП-53-04. Правила безопасности при транспортировке радиоактивных отходов.
10. НП-58-04. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения.
11. РБ-003-98. Требования к программе обеспечения качества при обращении с радиоактивными отходами.
12. РБ-023-02. Рекомендации по установлению критериев приемлемости кондиционированных радиоактивных отходов для их хранения и захоронения.
13. НП-052-04. Правила обеспечения безопасности при временном хранении радиоактивных отходов, образующихся при добыче, переработке и использовании полезных ископаемых.
14. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 октября 1997 г. № 1298 «Об утверждении Правил организации системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов».
15. СП 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-99/2009) утверждены ГГСВ Российской Федерации 07.07.09 г.

16. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010), СП 2.6.1.2612-10, Роспотребнадзор, 2010.
17. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-2002), СП 2.6.6.1168-02, Минздрав России, 2002 (в ред. от 23.12.2010 № 167).
18. Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ) . СанПиН 2.6.1.1281-03.
19. Захоронение радиоактивных отходов. Конкретные требования безопасности № SSR-5. МАГАТЭ, ВЕНА, 2011. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1449r_Web.pdf.
20. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. — Под общей редакцией Е. В. Евстратова, А. М. Агапова, Н. П. Лаверова, Л. А. Большова, И. И. Линге. / Л.А. Большов, И.И. Линге. и др. — М.: ИБРАЭ РАН,— 2012 г. — 356 с. — Т1.
21. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Развитие системы обращения с радиоактивными отходами в России. — Под общей редакцией Большова Л. А., Лаверова Н. П., Линге И. И. и др. — М.: ИБРАЭ РАН, - 2013. —392 с. — Т2.
22. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2007 г. № 484-р.
23. Дорожная карта создания Единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами / Е.В. Евстратов, А.М. Агапов, И.И. Линге и др. — ИБРАЭ РАН. — 2009 г.
24. Проект «Локальной стратегии обращения с радиоактивными отходами ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ». Письмо от 01.07.13 № 224/01-26/1862К от заместителя ген. директора – главного инженера ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ» заместителю директора по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО Госкорпорации «Росатом».
25. Самойлов, А. А. Презентация итогового отчета по ФЦП ЯРБ. VIII Международная выставка и конференция «АтомЭко-2015», Москва. 9–11 ноября 2015.
26. Проект «Стратегия обращения с РАО в открытом акционерном обществе «Уральский электрохимический комбинат» от 25.02.2013г. № 28/1, утвержденная ген. директором ОАО «УЭХК».
27. Пояснительная записка к формам первичной регистрации. Письмо от 15.03.2013 № 28/3 от заместителя технического директора по ЯРПБ и ООС директору по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО Госкорпорации «Росатом».
28. Cleaning Up Nuclear Weapons Complex, An Update for States 2008 Edition, NGA, Center for Best Practices.
29. Military Nuclear Wastes in the United Statesm, Robert Alvarez, Senior Advisor, Friends of the Earth, December 1, 2012.

30. Introduction to DOE Environmental Liabilities, May 2013, www.energy.gov/sites/prod/files/2013/.../Environmental-Liability-101-2013.pdf
31. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide, Version 4.0, Landfill caps are used for contaminant source control, <http://www.frtr.gov/matrix2/section4/4-27.html>
32. Jackie Travers, B.S., Ekaterina Alexandrova, B.A., and Marvin Resnikoff, Ph.D, An Assessment of Los Alamos National Laboratory Waste Disposal Inventory Los Alamos, New Mexico, November 2009.
33. IAEA 2009. Classification of radioactive waste. General Safety Guide. No GSG-1, IAEA, Vienna (2009).
34. Отчет SKB International AB «Технические и экономические преимущества введения категории ОНАО», выполненный в рамках соглашения о сотрудничестве с ИБРАЭ РАН от 2008 г. в области захоронения радиоактивных отходов. Швеция, SKB. 2010 г.
35. Рыбальченко И. Л. Обращение с отходами очень низкого уровня активности. Шведский опыт. М.: СПб., 2009. 36 с.
36. <http://www.andra.fr>.
37. 114. IAEA. Обращение с радиоактивными отходами, образующимися при добыче и переработке руд // Серия изданий по безопасности, № WS-G-1.2. МАГАТЭ, Вена, - 2005. – С. 60.
38. «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 30.12.2015) (с изм. и доп., вступ. в силу с 10.01.2016).
39. Ведерникова, М.В. К вопросу о новом классе очень низкоактивных радиоактивных отходов / М.В. Ведерникова // Сборник тезисов докладов четвертой конференции молодых ученых и специалистов с элементами научной школы Радуга-2011 «Обращение с радиоактивными отходами. Проблемы и решения». – М: ООО «Все для Вас «Подмосковье», – 2011. – С 55-57.
40. <http://www.atomic-energy.ru/articles/2014/11/14/52951>.
41. Радиационная безопасность при выводе из эксплуатации реакторных установок гражданского и военного назначения: Проект № 465-97 МНТЦ/ И. А. Енговатов, В. П. Машкович, Ю. В. Орлов и др. М.: ПАИМС. – 1999. – С. 300.
42. ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1 (3).
43. ICRP, 1991b. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).
44. ICRP, 2007. 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Users Edition). ICRP Publication 103 (Users Edition). Ann. ICRP 37 (2-4).

45. Бобылев, С.Н. Экономика природопользования / С.Н. Бобылев, А.Ш. Ходжаев // ДОС. Учебник. – Москва, - 2003. – С. 567.
46. http://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.CD?order=wbapi_data_value_2012+wbapi_data_value&sort=asc.
47. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 июля 2012 г. № 767 «О проведении первичной регистрации РАО».
48. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2012 г. №1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения РАО к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых РАО».
49. Федеральный закон от 10.01.02 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
50. Приказ Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 24.01.2013 г. №1/41-П г. Москва «Об утверждении Порядка проведения первичной регистрации радиоактивных отходов и установления мест их размещения».
51. Абрамов, А.А. Разработка методического обеспечения при проведении первичной регистрации РАО в части отнесения накопленных РАО к особым РАО / А.А. Абрамов, М.В. Ведерникова, М.Н. Савкин // Ядерная и радиационная безопасность России. – 2013. – №14. – С.11-21.
52. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 13 марта 2013 г. № 89 «О первоначальном установлении тарифов на захоронение РАО».
53. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2012 г. № 1494 «Об утверждении Положения об отнесении объектов использования атомной энергии к отдельным категориям и определении состава и границ таких объектов».
54. Развитие подходов к обоснованию отнесения РАО к особым РАО / И. И. Линге, М. Н. Савкин, И.Л. Абалкина и др.; Препринт IBRAE-2014-04. М.: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2014. – 29 с.: ил.
55. Подходы к оценке и сопоставлению доз, рисков и затрат для целей обоснования отнесения РАО к особым РАО / И. И. Линге, М. Н. Савкин, И.Л. Абалкина и др.; - Препринт № IBRAE-2013-06. М.: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2013. – 38 с.
56. IAEA. Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов // Серия изданий по безопасности, № WS-R-1. МАГАТЭ, Вена, - 2003. – С. 50.
57. Алексахин, А.И. «Водоем-9 — хранилище жидких радиоактивных отходов и воздействие его на геологическую среду/ Под ред. Дрожко Е. Г., Самсонова Б. Г.// — М., 2007, 250 с.

58. 116. IAEA. Оценка безопасности приповерхностного захоронения радиоактивных отходов // Серия изданий по безопасности, № WS-G-1.1. МАГАТЭ, Вена, - 1990. – С. 44.

59. Научно-техническое пособие по подготовке обосновывающих материалов для принятия решения об отнесении РАО к особым радиоактивным отходам. Версия 2.0 / И. И. Линге, М. Н. Савкин, М.В. Ведерникова и др.; Москва: ИБРАЭ РАН М. М.: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН,— 2014. – 157 с.: ил.

60. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». Отраслевой отчет по безопасности. И.: ООО «Алиса-Медиа – Москва, 2014. 91 с.

61. <http://www.atomic-energy.ru/interviews/2011/04/12/21064>.

62. РД 95 10444-91. Рекомендации по определению расчетных характеристик смерчей при размещении атомных станций.

63. РБ-022-01. Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии.

64. Отчет ФГУП «ПО «Маяк». Расчет вероятного вреда при аварии на гидротехнических сооружениях Теченского каскада водоемов В-3, В-4, В-10 и В-11 (ТКВ), согласованный министром по радиационной и экологической безопасности Челябинской области и ген. директорами ФГУП «ПО «Маяк», г. Озерск, 2006.

65. Уткин, С.С. Опыт решения и перспективные задачи обоснования безопасности при захоронении РАО/ С.С. Уткин// VIII Международная выставка и конференция «АтомЭко-2015», Москва. 9-11 ноября 2015.

66. «Стратегия обращения с РАО в ОАО ЧМЗ», № 19-934-09/35676 от 28.06.2013г.». Письмо от 01.07.13 №19-934-10/9200-ИС от зам. ген. директора – тех. Директора ОАО «ЧМЗ» директору по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО Госкорпорации «Росатом».

67. Стратегия обращения с радиоактивными отходами ОАО «Концерн Росэнергоатом», УД/2218/2206. Москва, 2015г.

68. Приложение к письму и.о. генерального директора ФГУП «РосРАО» от 04.07.2013 № 214/2614И зам. директора по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО Госкорпорации «Росатом» «Локальные стратегии по 9-ти отделениям ФГУП «РосРАО».

69. Приложение к письму и.о. генерального инженера ОАО «НЗХК» от 28.06.2013 № 21/36-91 Том 4 -3453 зам. директора по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО Госкорпорации «Росатом» «Проект локальной стратегии с РАО ОАО «НЗХК».

70. Приложение к письму генерального директора ФГУП «ПО «Маяк» от 02.07.2013 № 193-2-2.3.1/4613 зам. директора по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ

ЯРОО Госкорпорации «Росатом» «Стратегия обращения с РАО на ФГУП «Производственное объединение «Маяк».

71. Приложение к письму и.о. главного инженера предприятия ФГУП «ГХК» от 28.06.2013 № 212-01-07-39/0104 директору по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО Госкорпорации «Росатом» «Локальная стратегия обращения с РАО на ФГУП «ГХК».

72. Приложение к письму главного инженера ОАО «СХК» от 14.06.2013 № 02-19/294 зам. директора по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО Госкорпорации «Росатом» «Стратегия обращения с радиоактивными отходами ОАО «Сибирский химический комбинат».

73. Приложение к письму генерального директора ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат» от 18.06.2013 № 10/26 директору проектного офиса «Создание системы обращения с РАО» Госкорпорации «Росатом» «Стратегия обращения с РАО в ОАО «АЭХК».

74. Приказ Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом" (Госкорпорация "Росатом") от 28 ноября 2013 г. № 1/16-НПА г. Москва «Об утверждении Методики определения состава затрат, связанных с удалением радиоактивных отходов».

75. Обоснование воздействия на окружающую среду при эксплуатации специальных промышленных водоемов Теченского каскада. Отчет от 28.06.2006 № ПТО-5067 ФГУП ПО «Маяк», г. Озерск, 2006.

76. ICRP Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants Publication 108. Ann. ICRP. 2009, 244 pages.

77. NCRP - National Council on Radiation Protection and Measurements. Effects of Ionizing Radiation on Aquatic Organisms. NCRP Report N 109, Bethesda, Maryland, USA, 1991. – 115 p.

78. IAEA - International Atomic Energy Agency. Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards. Technical Report Series No. 332. Vienna, IAEA, 1992 – 334 p.

79. US DOE. A Graded Approach for Evaluating Radiation Doses to Aquatic and Terrestrial Biota. DOE-STD-1153-2002. Washington, 2002. – 234 p.

80. Kryshev I.I., Kryshev A.I., Sazykina T.G. Dynamics of radiation exposure to marine biota in the area of the Fukushima NPP in March-May 2011 //Journal of Environmental Radioactivity. 2012. V. 114. P. 157-161

81. Sazykina T.G., Kryshev A.I. EPIC database on the effects of chronic radiation in fish: Russian/FSU data //Journal of Environmental Radioactivity. 2003. V. 68, N 1. P. 65-87.

82. Sazykina T.G. ECOMOD – An ecological approach to radioecological modeling //Journal of Environmental Radioactivity. 2000. V. 50, N 3. P. 207-220.

83. UN – United Nations. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR Report. New York, 1996. 86 p.

84. Andersson P., Beaugelin-Seiller K., Beresford N.A. et al. Numerical benchmarks for protecting biota from radiation in the environment: proposed levels, underlying reasoning and recommendations. PROTECT Deliverable 5. EC contract number: 036425 (FI6R). 2008. 112 p.

85. <http://biodat.ru/db/fen/anim.htm>

86. http://www.yarregion.ru/pages/priroda_fauna.aspx

87. Методика оценки вреда и исчисления размера ущерба от уничтожения объектов животного мира и нарушения среды их обитания. М., Госкомэкологии России, 2000. – 12 с.

88. МПР РФ. Приказ МПР РФ от 28 апреля 2008 г. № 107 "Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного объектам животного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, а также иным объектам животного мира, не относящимся к объектам охоты и рыболовства и среде их обитания" (с изменениями и дополнениями от 12.12.2012). – 21 с.

89. Росрыболовство. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам. Приложение к приказу Росрыболовства от 25.11.2011 г. № 1166. М., 2011. – 69 с.

90. Постановление Правительства Российской Федерации от 8 мая 2007 г. № 273. Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения Лесного законодательства (в ред. Постановления Правительства РФ от 26.11.2007 № 806). М., 2007.– 13 с.

91. Приказ Минсельхоза Российской Федерации от 02.08.2010 г. № 271 «Об утверждении Перечня видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается».

92. Минприроды России. Таксы для исчисления размера вреда, причиненного объектам растительного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, и среде их обитания вследствие нарушения законодательства в области охраны окружающей среды и природопользования. Утверждены Приказом Минприроды России от 1 августа 2011 г. № 658. М., 2011. – 3 с.

93. Минприроды России. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России) от 8 декабря 2011 г. N 948 г. Москва "Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного охотничьим ресурсам". – 3 с.

94. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 мая 1994 г. № 515. Об утверждении такс для исчисления размера взыскания за ущерб, причиненный уничтожением, незаконным выловом или добычей водных биологических ресурсов (в ред. Постановлений Правительства Российской Федерации от 26.09.2000 № 724; от 10.03.2009 № 219). – 3 с.

95. Ulanovsky A., Proehl G., Gomez-Ros J. Methods for calculating dose conversion coefficients for terrestrial and aquatic biota. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2006, 99, 1440-1448.

96. Ulanovsky A., Proehl G. Tables of dose conversion coefficients for estimating internal and external radiation exposures to terrestrial and aquatic biota. *Radiation and Environmental Biophysics*, 2008. Vol. 47 (2), p.195 – 203.

97. ICRP, 2009. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. ICRP Publication 114, Ann. ICRP 39(6).

98. Глинский М. Л., Ветров В. А., Абрамов А. А., Чертков Л. Г. «Объектовый мониторинг состояния недр на предприятиях атомной отрасли/ Под редакцией д.г.-м.н. В. А. Ветрова. – М.: Б.С.Г.-Пресс, 2015. – 264 с.

99. <http://ecolego.facilia.se/ecolego/show/HomePage>.

100. Алексахин А. И., Глаголев А. В., Дрожко Е. Г., Зинин А. И., Зинина Г. А., Иванов И. А., Мокров Ю. О. Г., Орлова Е. И., Самсонов Б. Г., Самсонова Л. М., Стукалов П. М. Водоём-9 – хранилище жидких радиоактивных отходов и воздействие его на геологическую среду. – Под ред. Дрожко Е. Г., Самсонова Б. Г. – М., 2007, 250 с.

101. Проект. Консервация водоема В-9 (оз. Карачай). 3-я очередь. Том 1 – 13, Озерск. 2004 г.

102. Отчет «Заключение. Результаты прогнозного расчета миграции нитрат-иона и Sr-90 на период до 2300 года», Москва, Гидроспецгеология, 2003.

103. Приложение № 2 к акту первичной регистрации от 30.05.2014 № 82/190. Пояснительная записка об отнесении РАО в приповерхностном хранилище, расположенном на территории объекта использования ядерного заряда в мирных целях «Кама-1» к особым РАО. Увт. начальником лаборатории радиационной безопасности ОАО «ВНИПИпромтехнологии», начальником отдела радиационной безопасности ООО «Газпром геотехнологии».

104. <http://www.quintessa.org/software/AMBER/index.html>.

105. Обосновывающие материалы. Отнесение радиоактивных отходов, размещенных в объекте использования атомной энергии – поверхностном водоеме хранилище жидких радиоактивных отходов – водоеме В-3, к особым радиоактивным отходам. ФГУП «ПО «Маяк» № 2.3.1/3706. от 25.07.2014, Озерск, 2014 г.

106. Обосновывающие материалы. Отнесение радиоактивных отходов, размещенных в объекте использования атомной энергии – поверхностном водоеме хранилище жидких радиоактивных отходов – водоеме В-4, к особым радиоактивным отходам. ФГУП «ПО «Маяк» № 2.3.1/3705. от 25.07.2014, Озерск, 2014 г.

107. Обосновывающие материалы. Отнесение радиоактивных отходов, размещенных в объекте использования атомной энергии – поверхностном водоеме хранилище жидких радиоактивных отходов – водоеме В-10, к особым радиоактивным отходам. ФГУП «ПО «Маяк» № 2.3.1/3842. от 25.07.2014, Озерск, 2014 г.

108. Обосновывающие материалы. Отнесение радиоактивных отходов, размещенных в объекте использования атомной энергии – поверхностном водоеме хранилище жидких радиоактивных отходов – водоеме В-11, к особым радиоактивным отходам. ФГУП «ПО «Маяк» № 2.3.1/3839. от 25.07.2014, Озерск, 2014 г.

109. Лемус, А. В. Применение дистанционно-управляемых машин BROKK при проведении работ по демонтажу реакторного оборудования. Круглый стол Госкорпорации «Росатом» «Оптимизация решений по безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии» Москва, ИБРАЭ 2015, 27 мая 2015 г.

110. Штромбах Я. И. Обеспечение безопасности при работах по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ в НИЦ «Курчатовский институт». 10-я Юбилейная Российская научная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях», Москва, 22–25 сентября 2015 г.

111. Куваев, А. А. Обоснование радиационной и экологической безопасности ОИАЭ с использованием геофильтрационного и геомиграционного моделирования. /Заседание секции «Экологическая и радиационная безопасность пунктов долговременного хранения, консервации и захоронения РАО» НТС № 10 Госкорпорации «Росатом». Москва, 29/10/2015 г.

112. Особые радиоактивные отходы / М.В. Ведерникова, М.Н. Савкин, И.И. Линге и др. – М.: ООО «САМ полиграфист», 2015. – 240 с.: ил.

113. Линге, И.И. Обращение с особыми радиоактивными отходами: прогресс практической деятельности и актуальные задачи /И.И. Линге, М.В. Ведерникова, М.Н. Савкин//Радиационная гигиена. – 2014. – № 4 (Том 7). – С. 23-30.

114. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2015 года № 1248 «Об утверждении федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года».

115. Инвентаризация состояния ядерно и радиационно опасных объектов и выработка технических решений в отношении объектов атомной отрасли / ИБРАЭ РАН; рук. Линге И. И. – Инв. № 008-Н.4п.23.12.08.147.- М., 2015.-133 с.

116. <http://www.atomic-energy.ru/articles/2014/11/14/52951>.

117. К вопросу оценки объема ядерного наследия в атомной промышленности и на иных объектах мирного использования атомной энергии в России / А.А. Абрамов, А.Н. Дорофеев, М.В. Ведерникова и др. // Ядерная и радиационная безопасность. – 2014. – № 3 (73). – С. 1-11.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Эффективность отнесения накопленных РАО к особым РАО (за исключением объектов, образовавшихся при использовании ядерных зарядов в мирных целях)

<i>№</i>	<i>Организа-ция</i>	<i>Наименование пункта хранения РАО</i>	<i>Снижение коллективных доз облучения, чел. Зв</i>	<i>Снижение расходов будущих периодов, млрд руб.</i>
1.	ОАО «ЧМЗ»	Хвостохранилище № 2	Более 29	Более 245
2.	ОАО «ЧМЗ»	Хвостохранилище № 1	Более 20	Более 100
3.	ФГУП «ПО «Маяк»	Полигон ПЗ ТРО В-9	Более 2	Более 20
4.	ФГУП «ПО «Маяк»	Поверхностный водоём-хранилище жидких радиоактивных отходов (специальный промышленный водоём) В-9	Более 752	Более 2 689 951
5.	ФГУП «ПО «Маяк»	Могильник №8	Более 0,13	Более 4,5
6.	ФГУП «ПО «Маяк»	Комплекс грунтовых могильников химико-металлургического производства	Более 37	Более 275
7.	ФГУП «ПО «Маяк»	Комплекс грунтовых могильников площадок размещения промышленных реакторов	Более 6	Более 42
8.	ФГУП «ПО «Маяк»	Комплекс грунтовых могильников радиохимического производства	Более 19	Более 103
9.	ФГУП «ПО «Маяк»	Поверхностный водоём-хранилище жидких РАО (специальный промышленный водоём) В-3	Более 8	Более 9
10.	ФГУП «ПО «Маяк»	Поверхностный водоём-хранилище жидких РАО (специальный промышленный водоём) В-4	Более 18	Более 55
11.	ФГУП «ПО «Маяк»	Поверхностный водоём-хранилище жидких РАО (специальный промышленный водоём) В-11	Более 2,6	Более 6
12.	ФГУП «ПО «Маяк»	Поверхностный водоём-хранилище жидких радиоактивных отходов (специальный промышленный водоём) В-10	Более 7	Более 7
13.	ФГУП «ПО «Маяк»	Поверхностный водоём – хранилище жидких РАО водоём В-2	Более 37	Более 14
14.	ФГУП «ПО «Маяк»	Поверхностный водоём-хранилище жидких радиоактивных отходов (специальный промышленный водоём) В-6	Более 49	Более 17
15.	ФГУП «ПО «Маяк»	Поверхностный водоём-хранилище жидких радиоактивных отходов (специальный промышленный водоём) В-17	Более 64	Более 215

<i>№</i>	<i>Организа- ция</i>	<i>Наименование пункта хранения РАО</i>	<i>Снижение коллективных доз облучения, чел. Зв</i>	<i>Снижение расходов будущих периодов, млрд руб.</i>
16.	ПАО «НЗХК»	Хвостохранилище НЗХК	Более 1,8	Более 27
17.	ПАО «ППГХО»	Хвостохранилище «Верхнее»	Более 238	Более 445
18.	ПАО «ППГХО»	Хвостохранилище «Среднее»	Более 97	Более 166
19.	ФГУП «ГХК»	Объект 2 (графитовая кладка ПУГР АД)	Более 225	Более 70
20.	ФГУП «ГХК»	Объект 1-Э (графитовая кладка ПУГР АДЭ-1)	Более 235	Более 70
21.	ФГУП «ГХК»	Объект 2-АЭ (графитовая кладка ПУГР АДЭ-2)	Более 260	Более 72
22.	ФГУП «ГХК»	ЦЗ АДЭ-1	Более 22	Более 9,3
23.		об. 5М		
24.		ЦЗ АДЭ-2		
25.		об. 6В		
26.	ФГУП «ГХК»	Объект 83	Более 9	Более 1,5
27.	ФГУП «ГХК»	Об. 384/1,2,3 (хранилище ЖРО)	более 0,1	Более 1,6
28.	ФГУП «ГХК»	Об. 385/1,2 (хранилище ЖРО)	Более 0,5	Более 7,9
29.	ФГУП «ГХК»	Об. 650/1 (хранилище ТРО)	Более 1,1	Более 14,5
30.	ФГУП «ГХК»	Об. 650/2 (хранилище ТРО)	Более 1,2	Более 14,5
31.	ФГУП «ГХК»	Об. 651/1 (хранилище ТРО)	Более 0,3	Более 7
32.	ФГУП «ГХК»	Об. 651/2 (хранилище ТРО)	Более 0,4	Более 7
33.	ФГУП «ГХК»	Об. 652/1 (хранилище ТРО)	Более 2,9	Более 0,8
34.	ФГУП «ГХК»	Об. 652/2 (хранилище ТРО)	Более 2,9	Более 0,8
35.	ФГУП «ГХК»	Об. 652/3 (хранилище ТРО)	Более 2,7	Более 0,8
36.	ФГУП «ГХК»	Об. 652/4 (хранилище ТРО)	Более 2,9	Более 0,6
37.	ФГУП «ГХК»	Об. 347/2а (хранилище ТРО)	Более 0,1	Более 2,9
38.	ФГУП «ГХК»	Об. 347/2б (хранилище ТРО)	Более 0,2	Более 4,3
39.	ФГУП «ГХК»	Об. 347/2в (хранилище ТРО)	Более 0,2	Более 4,3
40.	ФГУП «ГХК»	Об. 347/2г (хранилище ТРО)	Более 0,1	Более 2,9

<i>№</i>	<i>Организа- ция</i>	<i>Наименование пункта хранения РАО</i>	<i>Снижение коллективных доз облучения, чел. Зв</i>	<i>Снижение расходов будущих периодов, млрд руб.</i>
41.	ФГУП «ГХК»	Об. 660 (хранилище ТРО)	Более 0,2	Более 8,4
42.	ФГУП «ГХК»	354 (хранилище загрязненного грунта)	Более 0,4	Более 45
43.	ОАО «СХК»	Бассейн Б-1	Более 127,4	Более 768,4
44.	ОАО «СХК»	Бассейн Б-25	Более 17,84	Более 80,7
45.	ОАО «СХК»	Бассейн Б-2	Более 126,98	Более 1870,9
46.	ОАО «СХК»	Водохранилище № 3, 4	Более 9576	Более 3796,5
47.	ОАО «СХК»	Пульпохранилище	Более 255	Более 180
48.	ОАО «СХК»	Сооружение площадки 16 бункерного типа	Более 9	Более 66
49.	ОАО «СХК»	Сооружение площадки 16 траншейного типа	Более 19	Более 100
50.	ОАО «СХК»	Могильник М1	Более 152	Более 93
51.	ОАО «СХК»	Могильник М2	Более 769	Более 246
52.	ОАО «СХК»	Могильник М3	Более 94	Более 167
53.	ОАО «СХК»	Пункт хранения твердых радиоактивных отходов ПХТРО № 1 - б	Более 0,3	Более 15
54.	ОАО ОДЦ «УГР»	Пункт хранения РАО И-1 зд. 150	Более 0,4	Более 1,55
55.	ОАО ОДЦ «УГР»	ДХТО № 14 (1 и 2 очередь) пл. 11	Более 0,6	Более 10
56.	ОАО ОДЦ «УГР»	ХТО № 1 зд. 350	Более 0,3	Более 0,85
57.	ОАО ОДЦ «УГР»	ХТО № 1 зд. 150	Более 0,27	Более 0,84
58.	ОАО ОДЦ «УГР»	Пункт хранения РАО ЭИ-2 зд. 190	Более 0,3	Более 2,1
59.	ОАО ОДЦ «УГР»	ХТО № 2 (1 и 2 очередь) зд. 150	Более 0,39	Более 2,1
60.	ОАО ОДЦ «УГР»	ХТО № 1 зд. 190	Более 0,57	Более 1,2
61.	ОАО ОДЦ «УГР»	ХТО № 2 зд. 350	Более 0,42	Более 2,7

<i>№</i>	<i>Организа- ция</i>	<i>Наименование пункта хранения РАО</i>	<i>Снижение коллективных доз облучения, чел. Зв</i>	<i>Снижение расходов будущих периодов, млрд руб.</i>
62.	ОАО ОДЦ «УГР»	ХТО № 3 зд. 190	Более 0,43	Более 4,8
63.	ОАО ОДЦ «УГР»	ХТО № 3 зд. 150	Более 0,48	Более 4,8
64.	ОАО ОДЦ «УГР»	ХТО № 4 зд. 190	Более 0,4	Более 6,8
65.	ОАО ОДЦ «УГР»	Комплекс АДЭ-4 и АДЭ-5	Более 1,1	Более 10,4
66.	ОАО ОДЦ «УГР»	ХТО № 3 зд. 350	Более 0,4	Более 2,1
67.	ОАО ОДЦ «УГР»	Пункт хранения РАО АДЭ-3 зд. 350	Более 0,28	Более 5,4

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Абрамов, А.А. Разработка методического обеспечения при проведении первичной регистрации РАО в части отнесения накопленных РАО к особым РАО / А.А. Абрамов, М.В. Ведерникова, М.Н. Савкин // Ядерная и радиационная безопасность России. – 2013. – №14. – С.11-21.
2. Оценка ущерба от радиационного воздействия на окружающую среду в районе расположения водоема Карачай / И.И. Линге, И.И. Крышев, М.В. Ведерникова и др.// Вопросы радиационной безопасности. – 2015. – №2 (74). – С. 34-42.
3. Линге, И.И. Обращение с особыми радиоактивными отходами: прогресс практической деятельности и актуальные задачи /И.И. Линге, М.В. Ведерникова, М.Н. Савкин//Радиационная гигиена. – 2014. – № 4 (Том 7). – С. 23-30.
4. Практические потребности развития методологии анализа риска для заключительной стадии жизненного цикла / Д.В. Бирюков, М.В. Ведерникова, Д.В. Ковальчук, М.Н. Савкин и др. // Радиация и риск. – 2015. – № 2 (Том 24). – С. 116-130.
5. Подходы к оценке и сопоставлению доз, рисков и затрат для целей обоснования отнесения РАО к особым РАО / И. И. Линге, М. Н. Савкин, И.Л. Абалкина и др.; - Препринт № ИВРАЕ-2013-06. М.: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2013. – 38 с.
6. Развитие подходов к обоснованию отнесения РАО к особым РАО / И. И. Линге, М. Н. Савкин, И.Л. Абалкина и др.; Препринт ИВРАЕ-2014-04. М.: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2014. – 29 с.: ил.
7. Научно-техническое пособие по подготовке обосновывающих материалов для принятия решения об отнесении РАО к особым радиоактивным отходам. Версия 2.0 / И. И. Линге, М. Н. Савкин, М.В. Ведерникова и др.; Москва: ИБРАЭ РАН М. М.: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН,— 2014. – 157 с.: ил.
8. Особые радиоактивные отходы / М.В. Ведерникова, М.Н. Савкин, И.И. Линге и др. – М.: ООО «САМ полиграфист», 2015. – 240 с.: ил.
9. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации и реабилитация. / Л.А. Большов, Н.П. Лаверов, И.И. Линге. и др. – М.: ИБРАЭ РАН, 2015. – 316 с. – Т3.
10. Ведерникова, М.В. К вопросу о новом классе очень низкоактивных радиоактивных отходов / М.В. Ведерникова // Сборник тезисов докладов четвертой конференции молодых ученых и специалистов с элементами научной школы Радуга-2011 «Обращение с радиоактивными отходами. Проблемы и решения». – М: ООО «Все для Вас «Подмосковье», – 2011. – С 55-57.
11. Ведерникова, М.В. Результаты первичной регистрации накопленных РАО и нерешенные вопросы / М.В. Ведерникова, И.И. Линге // Сборник трудов XVI научной школы молодых ученых ИБРАЭ РАН. – М. ИБРАЭ РАН, 2015. – № ИВРАЕ-2015-01. – 174 с.
12. Ведерникова, М.В. Оценка потенциального облучения при обращении с особыми РАО как основа организации аварийной готовности и реагирования / М.В. Ведерникова, И.И. Линге, М.Н. Савкин // Сборник Трудов IX Международного ядерного форума «Безопасность ядерных технологий». – 2014. – С 268-273.
13. Ведерникова, М.В. Методическое и научное обеспечение проведения первичной регистрации РАО в части отнесения накопленных РАО к особым РАО / М.В. Ведерникова //

Сборник тезисов докладов VII Съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиэкология, радиационная безопасность). – 2014. – С. 369.

14. Дорожная карта создания Единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами / Е.В. Евстратов, А.М. Агапов, И.И. Линге и др. – ИБРАЭ РАН. – 2009 г.