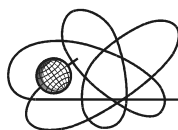




Российская Академия Наук

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



ИБРАЭ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № ИБРАЭ-2013-06

Preprint IBRAE-2013-06

**И. И. Линге, М. Н. Савкин, М. В. Ведерникова, И. Л. Абалкина,
В. И. Дорогов, С. С. Уткин, Л. А. Курындина, И. И. Крышев,
В. В. Бочкарев, М. А. Непейиво, А. Е. Щадилов, В. С. Репин,
Ю. Г. Мокров, О. А. Кочетков, В. Г. Барчуков**

**ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ И
СОПОСТАВЛЕНИЮ ДОЗ, РИСКОВ И ЗАТРАТ
ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОБОСНОВАНИЯ ОТНЕСЕНИЯ
РАО К ОСОБЫМ РАО**

Линге И. И., Савкин М. Н., Ведерникова М. В., Абалкина И. Л., Дорогов В. И., Уткин С. С., Курьндина Л. А., Крышев И. И., Бочкарев В. В., Непейпиво М. А., Щадилов А. Е., Репин В. С. Мокров Ю. Г., Кочетков О. А., Барчуков В. Г. ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ И СОПОСТАВЛЕНИЮ ДОЗ, РИСКОВ И ЗАТРАТ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ОБОСНОВАНИЯ ОТНЕСЕНИЯ РАО К ОСОБЫМ РАО. Препринт ИБРАЭ № ИБРАЕ-2013-06. Москва: ИБРАЭ РАН, 2013. — 38 с. — Библиогр.: 48 назв. — 112 экз.

Аннотация

В работе представлены основные подходы к проведению оценок коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения, затрат, связанных с удалением радиоактивных отходов и с захоронением радиоактивных отходов в месте их размещения, а также оценки совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения радиоактивных отходов в месте их нахождения для целей обоснования отнесения радиоактивных отходов к особым и удаляемым.

Подходы разработаны в соответствии с нормативными правовыми актами, в том числе федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии, санитарными правилами в области обеспечения радиационной безопасности, законодательством Российской Федерации об охране окружающей среды.

Разработанные подходы содержат рекомендации по проведению оценок предусмотренных критериями параметров и рекомендации по подготовке соответствующих обоснований по отнесению радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам. Они же могут стать основой в ходе рассмотрения обосновывающих материалов в федеральных органах исполнительной власти.

©ИБРАЭ РАН, 2013

Linge I. I., Savkin M. N., Vedernikova M. V., Abalkina I. L., Dorogov V. I., Utkin S. S., Kuryndina L. A., Kryshev I. I., Bochkarev V. V., Nepeypivo M. A., Shchadilov A. E., Repin V.S., Mokrov Yu. G., Kochetkov O. A., Barchukov V. G. APPROACHES TO THE EVALUATION AND COMPARISON OF DOSES, RISKS AND COSTS USED TO JUSTIFY RW ASSIGNMENT TO THE CATEGORY OF SPECIAL RW. Preprint № ИБРАЕ-2013-06. Moscow: Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciensis (IBRAE RAN), 2013. — 38 p.

Abstract

The paper presents the main approaches to the estimation of collective effective doses, risks of potential exposure, costs associated with elimination of radioactive waste and their disposal in situ, as well as the estimation of total potential damage caused to the environment if radioactive waste are disposed of in situ, for the purpose of radioactive waste assignment to the category of special or removable waste.

The approaches were developed in accordance with laws and regulations including the federal norms and rules in the field of atomic energy use, sanitary rules of radiation safety and the environmental legislation of the Russian Federation.

The approaches developed contain recommendations addressing the estimation process provided for by the criteria set for the parameters and the preparation of relevant justification for radioactive waste assignment to the group of special waste. They can also become a basis during the review of supporting materials by the federal executive authority that will have to examine those materials.

©Nuclear Safety Institute, 2013

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, В.И. Дорогов, С.С. Уткин, М.В. Ведерникова

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
115191, Москва, ул. Большая Тульская, 52
тел.: (495) 952-24-21 факс: (495) 958-11-51, эл. почта: pbl@ibrae.ac.ru

Л.А. Курьндина

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
123995 г. Москва, ул. Большая Грузинская, 4/6
тел.: (499) 254 56 22, факс: (499) 254 43 10, эл. почта: minprirody@mnr.gov.ru

И.И. Крышев

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «ТАЙФУН»
249038, Калужская область, Обнинск, ул. Победы, 4
тел.: (48439) 71540, факс: (48439) 40910, эл. почта: post@typhoon.obninsk.ru

В.В. Бочкарев, М.А. Непейтиво, А.Е. Щадилов

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ»
107140, Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5
тел.: (499) 264-00-03, факс: (499) 264-28-59, эл. почта: secnrs@secnrs.ru

В.С. Ретин

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА
П.В.РАМЗАЕВА»
197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, 8
тел.: (812) 233-53-63, факс: (812) 233-53-63, эл. почта: lvv1939@rambler.ru

Ю.Г. Мокров

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ
ОБЪЕДИНЕНИЕ «МАЯК»
456780, Челябинской область, Озерск, пр. Ленина, 31
тел. (3530) 2 50 11, факс (35130) 2 38 26, эл. почта: mayak@po-mayak.ru

Содержание

Список использованных сокращений	4
1 Введение	5
2 Общая постановка задачи	6
3 Оценка принципиальной возможности локализации РАО в месте их размещения	8
4. Крупноблочные сценарии альтернативных вариантов обращения с РАО	9
5 Оценка коллективных эффективных доз облучения	11
6 Оценка рисков потенциального облучения	18
7 Оценки затрат для двух вариантов обращения с РАО.....	22
7.1 Оценка затрат на захоронение РАО в месте их нахождения.....	22
7.2 Оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения	25
7.3 Оценка расходов, связанных с удалением радиоактивных отходов.....	29
8 Пример применения подхода при обосновании отнесения пункта хранения РАО к пункту размещения/консервации особых РАО	31
Заключение.....	35
Литература.....	35

Список использованных сокращений

- ВАО — высокоактивные отходы
ЕГС — единая государственная система
ЖРО — жидкие радиоактивные отходы
ИБРАЭ РАН — Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук
ИДК — индивидуальный дозиметрический контроль
КИРО — комплексное инженерное и радиационное обследование
МАГАТЭ — Международное агентство по атомной энергии
МАЭД — мощность AMBIENTного эквивалента дозы
МКРЗ — Международная Комиссия по Радиационной защите
НАО — низкоактивные отходы
НЗК — невозвратный защитный контейнер
НИЦ — Национальный исследовательский центр
НИОКР — научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки
НКДАР ООН — Научный комитет по действию атомной радиации Организации Объединенных Наций
НПО «Тайфун» — Научно-производственное объединение «Тайфун»
НРБ — нормы радиационной безопасности
НТЦ ЯРБ — Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности
ОАО — открытое акционерное общество
ОАО «ГНЦ НИИАР» — ОАО «Государственный научный центр — Научно-исследовательский институт атомных реакторов»
ОАО «СХК» — ОАО «Сибирский химический комбинат»
ОНРАО — очень низкоактивные радиоактивные отходы
ООБ — отчет по обоснованию безопасности
ОСПОРБ — основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности
ОЯТ — отработавшее ядерное топливо
ПЗ — пункт захоронения
ПЗУА — предельное значение удельной активности
ПК — пункт консервации
ПП — постановление Правительства Российской Федерации
ПХ — пункт хранения
РАО — радиоактивные отходы
РИТЭГ — радиоизотопный термоэлектрический генератор
РОО — радиационно опасный объект
САО — среднеактивные отходы
СГУК РВ и РАО — система государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов
СЗЗ — санитарно-защитная зона
СПОРО — санитарные правила обращения с радиоактивными отходами
США — Соединенные штаты Америки
ТРО — твердые радиоактивные отходы
ТУК — транспортно-упаковочный комплекс
ФБУ «НТЦ ЯРБ» — Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»
ФБУН «НИИРГ» — Федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева»
ФГУП — Федеральное государственное унитарное предприятие
ФГУП «ГХК» — ФГУП «Горно-химический комбинат»
ФГУП «ПО «МАЯК» — ФГУП «Производственное объединение «МАЯК»
ФГУП «РосРАО» — ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами»
ФЗ — федеральный закон

1 Введение

Одной из основных составляющих ядерного наследия являются накопленные радиоактивные отходы (РАО) [1]. Прежняя практика обращения с РАО заключалась в создании пунктов хранения РАО в месте их образования или их переработки на объектах ядерного топливного цикла и ядерно-оружейного комплекса. К настоящему времени в Российской Федерации накоплено большое количество РАО. Их основная часть находится в организациях атомной промышленности. Принципиально новая стратегия обращения с накопленными РАО, направленная на создание Единой государственной системы по обращению с радиоактивными отходами (ЕГС РАО), была закреплена в Федеральном законе от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (далее — 190-ФЗ [2]).

В ст. 4 190-ФЗ радиоактивные отходы подразделяются на удаляемые и особые РАО, исходя из принципа минимизации рисков и затрат при выборе оптимального варианта обращения с РАО: «...особые радиоактивные отходы — радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких радиоактивных отходов из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких радиоактивных отходов в месте их нахождения». Выделение категории особых РАО является стратегическим решением, которое учитывает специфику образования ядерного наследия и государственную ответственность в сфере обращения с РАО. В настоящее время проводится первичная регистрация накопленных РАО, в рамках которой часть РАО будет отнесена к особым РАО [3]. Отнесение к особым РАО должно обеспечить возможность реализации не менее безопасного, но существенно менее затратного способа окончательной изоляции ранее накопленных РАО — консервации пункта хранения РАО, а затем и обоснованного с позиций долгосрочной безопасности перевода в пункт захоронения РАО.

Качественные и количественные критерии отнесения РАО к особым РАО установлены Постановлением Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» (далее — ПП № 1069) [4].

Согласно ПП № 1069 *«К особым радиоактивным отходам относятся радиоактивные отходы, образовавшиеся в результате выполнения государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа, использования ядерных зарядов в мирных целях или вследствие ядерной и (или) радиационной аварии на объекте использования атомной энергии, жидкие радиоактивные отходы, размещенные в поверхностных водоемах — хранилищах радиоактивных отходов общим объемом более 25000 куб. м, введенных в эксплуатацию до вступления в силу 190-ФЗ, а также донные отложения таких водоемов-хранилищ, соответствующие следующим критериям:*

а) рассчитанные в соответствии с регулирующими обращение с радиоактивными отходами федеральными нормами и правилами, а также санитарными правилами в области обеспечения радиационной безопасности коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности радиоактивных отходов и риск потенциального облучения, связанные с удалением радиоактивных отходов, превышают коллективную эффективную дозу облучения за весь период потенциальной опасности и риск потенциального облучения, связанные с захоронением радиоактивных отходов в месте их нахождения;

б) расходы, связанные с удалением радиоактивных отходов (включая расходы на их извлечение, переработку, кондиционирование, перевозку к пункту захоронения и захоронение), рассчитанные в соответствии с методикой определения состава затрат, утверждаемой Государственной корпорацией по атомной энергии "Росатом", превышают совокупный размер возможного вреда окружающей среде в случае захоронения таких радиоактивных отходов в месте их нахождения, рассчитанный в соответствии с законодательством Российской Федерации об охране окружающей среды, и расходы на захоронение таких радиоактивных отходов в месте их нахождения (включая расходы на перевод пункта хранения радиоактивных отходов в пункт захоронения радиоактивных отходов, его эксплуатацию и закрытие, на обеспечение безопасности в течение всего периода потенциальной опасности радиоактивных отходов);

в) пункт хранения радиоактивных отходов и его санитарно-защитная зона размещены вне границ населенных пунктов, особо охраняемых природных территорий, прибрежных защитных полос и водоохранных зон водных объектов, других охранных и защитных зон, установленных в соответствии с законодательством Российской Федерации».

Сравнение критериев ПП № 1069 с 190-ФЗ показывает, что «иные риски» нерадиационной природы не учитываются при категорировании РАО на особые и удаляемые, т. е. установленные ПП № 1069 кри-

терии представляют собой дополнительные регулирующие требования к действующим федеральным и санитарным нормам и правилам в области обеспечения радиационной безопасности. Специфика этих дополнительных требований состоит в том, что они относятся не к референтным индивидам, — лицам из критической группы населения и персоналу радиационно опасного объекта (РОО), а к популяции настоящего и будущих поколений. Критерии ПП № 1069 выражены в форме коллективных эффективных доз и рисков, совокупных затрат на обращение с РАО и возможного вреда окружающей среде. Такое комплексное сочетание критериальных показателей различной природы для сравнения альтернативных вариантов обращения с РАО нуждается в научной трактовке с позиций современной системы радиационной защиты.

Например, коллективная доза на население в настоящее время используется, в основном, как инструмент для оптимизации, в целях сравнения радиационных технологий и защитных мер. Причем во избежание неправильного суммирования очень низких индивидуальных доз за длительные периоды времени МКРЗ рекомендует установить ограничения на использование значений коллективной эффективной дозы в качестве критерия [5].

Тема защиты окружающей среды, напротив, приобретает самостоятельное значение. Если ранее в системе радиационной защиты принимался антропоцентристский этический принцип, который предполагал примат радиационной защиты человека по отношению к иным видам живой природы, то теперь признается, что необходимо рассматривать более широкий диапазон ситуаций облучения окружающей среды вне зависимости от какой-либо связи с облучением человека.

Ограничение риска потенциального облучения, недавно внедренное в отечественное нормирование в форме граничных обобщенных рисков для персонала и населения [6], нуждается в специальном анализе для событий, которые могут произойти в отдаленном будущем, например, при захоронении РАО. *«Неопределенности оценок облучения в этом случае весьма значительны. Оценки доз в таких случаях не следует рассматривать, как меру радиационного вреда, наносимого в будущем через несколько сотен лет. Скорее эти оценки являются индикаторами защиты, обеспечиваемой системой захоронения [5, 7]».*

Наконец, оценка расходов на обращение с РАО также обладает значительными неопределенностями, свойственными предпроектному этапу анализа и сравнения альтернативных вариантов захоронения.

Основная роль в разработке обоснования отнесения РАО к особым или удаляемым РАО отводится эксплуатирующей организации, которая имеет информацию по своему пункту хранения РАО. В том числе информацию, содержащую сведения о назначении пункта хранения, при его строительстве, в том числе проектные решения, сведения о состоянии физических барьеров безопасности, сведения, содержащиеся в отчетах по радиационной безопасности, в отчете по оценке воздействия объекта на окружающую среду, проектных материалах по консервации пункта хранения РАО и другую. Каждый пункт хранения РАО может иметь свою специфику, однако, разумная унификация процедуры подготовки обосновывающих материалов позволит избежать неверных решений по отнесению РАО к особым РАО.

Цель настоящей публикации заключается в методологическом разъяснении принципов, подходов, допущений и процедур, которые рекомендуются использовать для сравнительного анализа радиологических рисков и затрат при обращении с РАО как с особыми РАО или как с удаляемыми РАО. Публикация суммирует результаты обсуждений и дискуссий проведенных в 2013 г. с участием специалистов научных организаций и федеральных органов исполнительной власти проекта «Методологии проведения оценки и сопоставления рисков и затрат для целей обоснования решения об отнесении радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам».

2 Общая постановка задачи

Проведение первичной регистрации и конкретные обоснования отнесения РАО к особым будут готовиться организациями, в чьей собственности, хозяйственном ведении, оперативном управлении находятся пункты хранения РАО. Обоснования будут рассматриваться: межведомственными комиссиями при прохождении первичной регистрации; органами регулирования безопасности при согласовании перечней пунктов захоронения радиоактивных отходов, пунктов долговременного хранения радиоактивных отходов, пунктов размещения особых радиоактивных отходов, пунктов консервации особых радиоактивных отходов. Затем подготовленные перечни должны быть представлены органом государственного управления в области обращения с радиоактивными отходами в Правительство Российской Федерации вместе с проектом соответствующего постановления, завизированным всеми заинтересованными ведомствами.

Следовательно, различная мотивация вовлеченных и заинтересованных сторон должна быть учтена или принята во внимание. Например, заинтересованность эксплуатирующих организаций в отнесении РАО к особым РАО заключается, главным образом, в получении ресурсов для повышения безопасности пунктов хранения за счет консервации и снижения будущих расходов на содержание этих пунктов хра-

нения. Регулирующие органы должны получить гарантии учета требований законодательства Российской Федерации в области использования атомной энергии, охраны окружающей среды, радиационной безопасности и санитарно-эпидемиологического благополучия, федеральных норм и правил в области использования атомной энергии и рекомендаций признанных международных организаций. Органы государственного управления — убедиться в том, что принятая стратегия обращения с федеральной собственностью является наиболее рачительной и безопасной. Американские специалисты, столкнувшиеся со сходной проблемой, сформулировали следующие принципы обоснования стратегического решения:

- прозрачности — полной ясности аргументов;
- простоты — изложения аргументов в форме доступной для понимания всеми заинтересованными сторонами;
- последовательности — соответствия методических подходов, используемых в государственной системе обращения с РАО, тем, которые применяются для других аналогичных задач органами государственного управления и регулирования в области обеспечения радиационной безопасности;
- разумности — убедительности аргументов с точки зрения здравого смысла.

Предварительный анализ состояния пунктов хранения РАО, в том числе и относящихся к «ядерному наследию», показывает, что они не соответствуют современным регулирующим требованиям. Проектирование и строительство большинства пунктов хранения накопленных РАО осуществлялось на основе критериев безопасности 50-х и 70-х годов, поэтому им были присущи серьезные эксплуатационные недостатки: (1) отсутствие соответствующего мониторинга; (2) недостаточный инвентарный учет размещения; (3) нехватка ресурсов; (4) отсутствие культуры безопасности; (5) отсутствие адекватной инфраструктуры для обращения с закрытыми источниками и сортировки отходов; (6) недолговечность инженерных барьеров и систем и т. д. Кроме того каждый пункт хранения имеет свои особенности и иногда обладает уникальностью, например, водоем «В-9» (оз. Карачай) ФГУП «ПО «Маяк». Готовые технологические решения обращения с РАО подчас не выработаны, также могут отсутствовать достоверные сведения о характеристиках РАО и состоянии барьеров безопасности пункта хранения РАО. Поэтому для решения поставленной задачи следует принять ряд упрощений.

Во-первых, для оценок критериальных параметров предлагается принять унифицированные крупноблочные сценарии для двух вариантов обращения с РАО: захоронения РАО в месте их нахождения и удаления РАО (включающего работы по извлечению РАО, приведение в соответствии с критериями приемлемости и передача на захоронение).

Во-вторых, установить общий подход к оценке периода потенциальной опасности. Неоднозначная трактовка условий освобождения от регулирующего контроля в НРБ-99/2009, ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002 [6, 8, 9] нуждается в разъяснении применительно к поставленной задаче отнесения отходов к особым или удаляемым РАО.

В-третьих, использовать консервативный подход к оценке коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения и затрат на работы в соответствии со сценарием захоронения РАО в месте их нахождения и реалистичный подход к оценке варианта удаления РАО. Тем самым достигается убедительность предпочтения варианта обращения с РАО в месте их нахождения при сравнении точечных оценок критериальных параметров для альтернативных вариантов. Более того, консервативный подход при оценке доз, рисков и затрат при обращении с особыми РАО позволяет задать верхнюю планку возможных расходов на дальнейших этапах реализации этого варианта захоронения.

В-четвертых, оценки затрат на консервацию и захоронение РАО в месте их нахождения должны основываться, в первую очередь, на имеющихся проектных решениях или обоснованных допущениях об объемах определенного вида работ с отсылкой к стоимости аналогичных работ в имеющихся проектах. Это позволит избежать субъективизма в обосновывающих материалах. Оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде должна основываться на действующих документах Правительства Российской Федерации и Минприроды России.

Первоначальный методологический подход по обоснованию отнесения накопленных РАО к особым РАО был изложен в тематическом отраслевом сборнике «Ядерная и радиационная безопасность» [10]. В опубликованной статье предлагалось исключить из рассмотрения этапы работ, инвариантные по отношению к дозе, риску и затратам для двух сценариев обращения с РАО (проведение КИРО, эксплуатация ПХ РАО в период консервации или удаления, РАО, мониторинга пункта консервации или централизованного ПЗ РАО) и не учитывать коллективные дозы населения, на том основании, что индивидуальные годовые дозы для критической группы населения в режиме нормальной эксплуатации не должны превышать уровня 10 мкЗв , соответствующего пренебрежимо малому индивидуальному пожизненному риску 10^{-6} . Предложенный подход, несмотря на его рациональность, не нашел полной поддержки у всех специалистов, главным образом по требованиям полноты обоснования, например, в части доз облучения населения.

В результате методология существенно детализировалась. В окончательном виде она предусматривает необходимость установления и расчета всех критериальных параметров, предусмотренных постанов-

лением ПП № 1069. Предполагается, что в обоснование отнесения РАО к особым РАО должны включаться ряд терминов и понятий, неоднозначно трактуемых в регулирующих документах, среди которых период потенциальной опасности, риск потенциального облучения, размер вреда окружающей среде. Исползованные упрощения и подходы будут рассмотрены в соответствующих разделах настоящей публикации. Несмотря на определенную перегруженность выработанных подходов в большинстве случаев их реализация может быть осуществлена на основе достаточно простых, но рациональных прогнозах и предположениях.

3 Оценка принципиальной возможности локализации РАО в месте их размещения

Данная оценка является исходным условием при принятии решения об отнесении РАО к особым РАО.

При оценке целесообразности отнесения РАО к особым должны приниматься во внимание объемы и характеристики накопленных РАО, период их потенциальной опасности, перспективы развития площадки их размещения, условия размещения РАО, в том числе характеристики имеющихся барьеров безопасности и возможность сооружения дополнительных барьеров безопасности.

При рассмотрении принципиальной возможности надежной локализации РАО на весь срок потенциальной опасности необходимо оценить геолого-гидрогеологические условия площадки и другие характеристики района и площадки размещения РАО. Оценка воздействия размещенных РАО на человека и окружающую среду с учетом условий размещения ПХ РАО может быть сделана путем проведения прогнозных расчетов на основе общепринятых моделей или с помощью аттестованных программных средств. Может быть использован пакет программ AMBER, рекомендованный МАГАТЭ для применения при оценках безопасности, либо программное обеспечение ECOLEGO.

В случае если ореол распространения радионуклидов выходит за пределы санитарно-защитной зоны, до окончания периода потенциальной опасности РАО, то должны быть проведены консервативные оценки дозы облучения при нормальном режиме жизнедеятельности населения. Если оцененные индивидуальные годовые дозы облучения населения превысят 10 мкЗв/год, то рассматриваемый объект не может быть признан пунктом хранения особых РАО. Тогда следует оценить возможность создания дополнительных барьеров безопасности, которые позволят в дальнейшем перевести рассматриваемый объект в пункт захоронения РАО.

Период потенциальной опасности размещенных РАО является ключевой характеристикой пункта хранения или пункта захоронения РАО. Он определен в регулирующих документах следующим образом:

- срок, в течение которого уровни радиоактивности РАО снижаются до показателей, при которых не требуется радиационный контроль» (ст. 3 190-ФЗ [2]);
- период времени, по истечении которого удельная активность радионуклидов, содержащихся в РАО, снизится до значений, позволяющих освободить их от регламентации [11, 12].

В качестве консервативного подхода определения периода потенциальной опасности (ППО) в рамках обоснования отнесения РАО к особым РАО предлагается исходить из ограничения по концентрации радионуклидов, содержащихся в пункте хранения РАО. Этот подход применялся в зарубежной практике лицензирования пункта захоронения ОЯТ [13].

Преимущество этого подхода для целей обоснования отнесения РАО к особым РАО в сравнении с подходом освобождения от регулирующего контроля на основании п. 1.4 НРБ-99/2009 [6] (индивидуальная годовая доза не более 10 мкЗв и коллективная годовая не более 1 чел.-Зв) заключается в том, что первый предельно прост, не требует расчетов индивидуальных и коллективных доз в каждый год потенциальной опасности РАО. В качестве критериального показателя безопасности РАО используются значения ПЗУА [4], предусмотренные критериями отнесения материалов и веществ к РАО.

Следовательно, период потенциальной опасности — это срок, по истечении которого сумма отношений максимальных удельных активностей радионуклидов ($VA_i(T)$) в отходах к их предельным значениям ($VA_i^{пред}$) не превышает 1, т. е.:

$$\sum_i \frac{VA_i(T)}{VA_i^{пред}} \leq 1, \quad (1)$$

где: T — период потенциальной опасности РАО; $VA_i(T)$ — удельная активность i -го радионуклида на момент времени T ; $VA_i^{пред}$ — предельное значение удельной активности для i -го радионуклида, установленное в ПП № 1069 [4].

Для проведения оценки периода потенциальной опасности необходимо в составе РАО выбрать наиболее долгоживущие радионуклиды, по которым необходимо добиться больших кратностей снижения активности. Для них оценивается период распада до уровней ПЗУА (таблица 1). Если среди выбранных радионуклидов есть один с существенно большим периодом потенциальной опасности, то используется значение для этого радионуклида. Если у нескольких радионуклидов период потенциальной опасности примерно совпадает, то необходимо его увеличить на один–два периода полураспада радионуклида с большим периодом полураспада.

Таблица 1 Период (лет) потенциальной опасности отдельных радионуклидов в зависимости от необходимой кратности снижения удельной активности

Необходимая кратность снижения УА Радионуклид	5	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶
H-3	30	45	90	140	180	230	270
Co-60	15	20	35	55	70	90	105
Sr-90 Cs-137	70	100	200	300	400	500	600
Ra-226	3 750	5 350	10 650	15 950	21 260	26 580	31 900
Th-230	2·10 ⁵	3·10 ⁵	5·10 ⁵	8·10 ⁵	1·10 ⁶	1·10 ⁶	2·10 ⁶
Th-232	3·10 ¹⁰	5·10 ¹⁰	9·10 ¹⁰	1·10 ¹¹	2·10 ¹¹	2·10 ¹¹	3·10 ¹¹
U-234	6·10 ⁵	8·10 ⁵	2·10 ⁶	2·10 ⁶	3·10 ⁶	4·10 ⁶	5·10 ⁶
U-235	2·10 ⁹	2·10 ⁹	5·10 ⁹	7·10 ⁹	9·10 ⁹	1·10 ¹⁰	1·10 ¹⁰
U-238	1·10 ¹⁰	1·10 ¹⁰	3·10 ¹⁰	4·10 ¹⁰	6·10 ¹⁰	7·10 ¹⁰	9·10 ¹⁰
Pu-239	56 000	80 000	160 000	240 000	320 000	400 000	480 000
Pu-240	15 000	22 000	44 000	65 000	87 000	108 000	130 000
Am-241	1 000	1 500	3 000	4 300	5 800	7 200	8 700

Как видно из таблицы 1, в случае если в РАО содержатся долгоживущие радионуклиды, период потенциальной опасности может превышать десятки тысяч — сотни тысяч лет. При таких больших отрезках времени точный расчет периода потенциальной опасности не представляется целесообразным вследствие огромных неопределенностей оценки критериальных параметров. В случае если в РАО содержатся радионуклиды с периодом полураспада в единицы — десятки лет, следует использовать для более точного расчета периода потенциальной опасности программные средства, например, «MathCad» «Excel» и др.

Предварительные экономические оценки показывают, что создание локальных пунктов захоронения в месте нахождения РАО даже в благоприятных геологических условиях нецелесообразно, в случае если объем РАО в пункте хранения менее 300 м³. Это связано с большой долей в структуре затрат издержек на получение лицензии, обоснование экологической безопасности, согласование с местными органами управления и других [14].

4. Крупноблочные сценарии альтернативных вариантов обращения с РАО

ПП № 1069 рассматривает две принципиально отличающихся технологических сценария обращения с РАО:

- захоронение РАО в месте их нахождения путем реконструкции имеющихся и строительства дополнительных инженерных барьеров и систем контроля сохранности и миграции (в случае необходимости);
- удаление РАО, т.е. извлечение РАО, их переработка, кондиционирование, транспортировка и размещение в централизованном пункте захоронения.

На рис. 1 приведены типовые основные этапы обращения с особыми РАО и удаляемыми РАО.

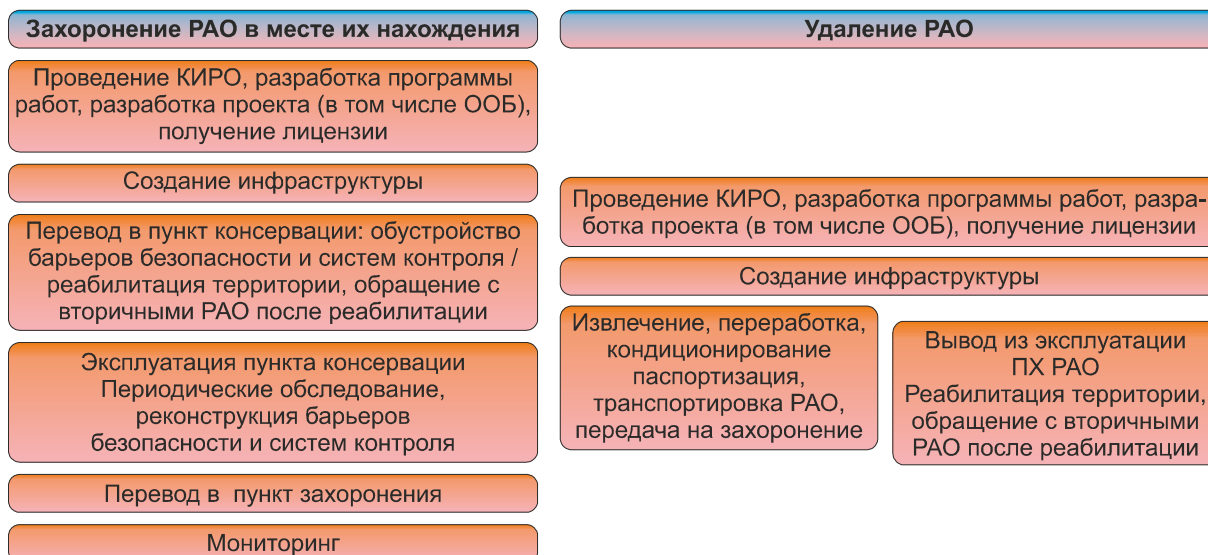


Рисунок 1 — Основные этапы работ по двум вариантам обращения с РАО

Сценарий захоронения РАО в месте их нахождения

Сценарий должен включать краткое описание этапов работ, которые должны быть выполнены для перевода пункта хранения в пункт захоронения РАО, а также временные рамки каждого этапа.

В зависимости от текущего состояния пункта хранения РАО определяются основные этапы его «жизненного цикла» до окончания периода потенциальной опасности РАО, в случае если РАО будут отнесены к особым РАО. В случае если какие-либо этапы уже пройдены (разработан проект консервации, проведена консервация и т. д.), то они не включаются в сценарий. Сценарий описывает только этапы, необходимые для перевода пункта хранения РАО в пункт захоронения РАО, начиная с текущего момента времени. Краткие пояснения по выбранным временным рамкам каждого этапа работ могут быть взяты из проекта консервации или заимствованы из аналогов.

Возможные варианты текущего состояния пункта хранения:

- в эксплуатации (в режиме приема и размещения РАО);
- в эксплуатации (размещение РАО не проводится, есть намерения провести консервацию);
- разработан проект консервации, в состоянии получения лицензии на проведение работ;
- ведутся работы по консервации;
- законсервирован (завершены работы по консервации пункта хранения РАО в соответствии с проектом консервации);
- другое.

Базовый сценарий захоронения РАО в месте их нахождения включает следующие укрупненные этапы работ:

- этап 1 (от 1 до 5 лет): проведение КИРО, разработка программы работ, разработка проекта работ, в том числе отчета по обоснованию безопасности, получение лицензии;
- этап 2 (от 1 до 3 лет): проведение подготовительных мероприятий (создание инфраструктуры и т. д.);
- этап 3 (от 1 до 5 лет): проведение работ по консервации ПХ (создание барьеров безопасности и систем контроля, реабилитация территории, обращение с РАО, образовавшимися в результате работ по реабилитации территории);
- этап 4 (зависит от срока эксплуатации барьеров безопасности): эксплуатация пункта консервации особых РАО и проведение мониторинга ПК РАО;
- этап 5, этап 6, ... этап n (количество этапов зависит от срока распада легкомигрирующих радионуклидов и срока эксплуатации барьеров безопасности): работы по реконструкции барьеров безопасности, эксплуатации пункта консервации особых РАО;
- этап n+1 (от 1 до 3 лет): перевод пункта консервации в пункт захоронения РАО (возможно проведение дополнительных обследований и реконструкция барьеров безопасности и систем контроля, подготовка документов);
- этап n+2 (зависит от периода потенциальной опасности РАО): мониторинг ПЗ РАО, обеспечение целостности ПЗ РАО и создание ограничений по доступности.

В ряде случаев, для проведения работ по консервации пункта хранения может потребоваться проведение работ по удалению части РАО с последующей их передачей на захоронение, в этом случае, данные работы включаются в сценарий захоронения РАО в месте их нахождения.

Конечное состояние объекта — закрытый пункт захоронения РАО, соответствующий требованиям федеральных норм и правил в области обращения с радиоактивными отходами.

Сценарий удаления РАО

Для описания сценария удаления РАО должна быть проведена оценка накопленных РАО, определены их характеристики (активность, прессуемые, сжигаемые и т. д.), варианты извлечения РАО, переработки и кондиционирования, упаковки и т. д. Процессы извлечения, переработки, кондиционирования определяются более детально, в том числе указывается, какие отходы каким образом планируется переработать и кондиционировать. Для определения временных рамок этапа, включающего работы по переработке РАО, целесообразно использовать данные по мощностям имеющихся на предприятии установок, либо планируемых к приобретению.

Базовый сценарий удаления РАО включает несколько этапов, которые могут сильно отличаться для разных типов пунктов хранения:

- этап 1 (от 1 до 5 лет): проведение КИРО, разработка программы работ, разработка проекта работ, в том числе отчета по обоснованию безопасности, получение лицензии;
- этап 2 (от 1 до 3 лет): проведение подготовительных мероприятий (создание инфраструктуры, закупка необходимого оборудования, контейнеров и т. д.);
- этап 3 (зависит от объема РАО и скорости проведения работ, мощности установок по переработке, кондиционированию, паспортизации и транспортировке): проведение работ по извлечению РАО из пункта хранения (вскрытие барьеров безопасности, извлечение РАО, первичная сортировка и др.), в том числе загрязненных до уровней отнесения к РАО конструкций пункта хранения и грунтов, переработка, кондиционирование, паспортизация РАО; транспортировка РАО к централизованному ПЗ РАО для передачи национальному оператору на захоронение;
- этап 4 (от 1 до 3 лет): вывод из эксплуатации ПХ, после удаления РАО, в том числе реабилитация территории.

Данный перечень может меняться в зависимости от выбранного варианта проведения работ по удалению отходов. Например, для ОНРАО может быть исключен этап переработки или рассмотрен вариант создания пункта захоронения ОНРАО на территории организации.

Следует отметить, что этап 1 и этап 2 для сценария захоронения РАО в месте их нахождения и сценария удаления РАО могут совпадать по срокам проведения работ. Кроме того, этапы работ 3, 4, 5, 6 могут пересекаться по срокам, т. к. данные работы могут проходить параллельно.

Конечное состояние объекта после удаления РАО — пункт хранения РАО выведен из эксплуатации, РАО извлечены, переработаны и размещены в централизованном пункте захоронения радиоактивных отходов.

5 Оценка коллективных эффективных доз облучения

Согласно ПП № 1069 для обоснования отнесения РАО к особым необходимо провести оценки коллективных эффективных доз облучения за весь период потенциальной опасности РАО для двух вариантов обращения с РАО (удаления РАО и захоронения РАО в месте их нахождения).

Общий подход и допущения при расчете коллективной эффективной дозы облучения за весь период потенциальной опасности включают следующее:

а) Коллективные эффективные дозы облучения персонала и коллективные эффективные дозы облучения населения рассчитываются отдельно.

б) Для варианта захоронения РАО в месте их нахождения рассчитывается коллективная доза от всех этапов обращения с РАО, согласно разработанному сценарию, на которых формируется доза облучения персонала.

в) Для варианта удаления РАО оценка коллективной дозы облучения персонала проводится поэтапно, начиная с наиболее дозозатратных этапов, предусмотренных разработанным сценарием удаления РАО. После выполнения оценки коллективной эффективной дозы облучения для одного этапа работ по удалению РАО проводится сравнение с полученной оценкой дозозатрат при захоронении РАО в месте их нахождения. Процедура оценки коллективной эффективной дозы облучения, связанной с удалением РАО, прекращается, как только начинает выполняться неравенство:

$$S_{OPAO} < S_{YPAO}, \quad (2)$$

где $S_{ОРАО}$ — коллективная эффективная доза облучения персонала за весь период потенциальной опасности, при захоронении РАО в месте их нахождения; $S_{УРАО}$ — коллективная эффективная доза облучения персонала при удалении РАО.

г) Расчет и сравнение коллективных доз облучения населения для альтернативных вариантов обращения с РАО не проводится, если в течение всего периода потенциальной опасности в режиме нормального обращения с РАО годовая средняя индивидуальная эффективная доза облучения критической группы населения не превышает 10 мкЗв. Основанием для такого вывода могут служить проектные материалы, отчет по обоснованию безопасности и другие научно-технические документы. В этом случае индивидуальный пожизненный риск не будет превышать уровня пренебрежимо малого риска 10^{-6} .

д) Для варианта захоронения РАО в месте их нахождения для проведения дозовых оценок могут использоваться: технологические данные и результаты оценки индивидуальных доз, содержащиеся в проекте консервации при их наличии; регламенты проведения аналогичных работ на данном объекте, данные КИРО и результаты ИДК персонала, задействованного в этих работах; данные и результаты, полученные при проведении аналогичных работ [15-17].

е) В целях убедительного доказательства безопасности и социальной приемлемости отнесения РАО к особым РАО рекомендуется проводить консервативную (завышенную) оценку дозы для варианта обращения с особыми РАО путем использования верхних оценок трудозатрат при выполнении отдельных операций и радиационной обстановки на рабочих местах;

ж) Для вариантов удаления РАО и захоронения РАО в месте их нахождения принимается, что на любой стадии обращения с РАО непревышение основного предела дозы персонала достигается на основе эксплуатационных требований, а не путем увеличения численности персонала. Это условие отвечает принципу оптимизации радиационной защиты (принципу ALARA) и соответствует положению МАГАТЭ: «Численность необходимого персонала следует определять только на основе эксплуатационных требований, и ее не следует увеличивать с тем, чтобы обеспечить соблюдение установленных пределов облучения».

Проведение оценки коллективной эффективной дозы облучения персонала

Вариант захоронения РАО в месте их нахождения

Технологические варианты перевода пункта хранения в пункт захоронения РАО могут существенно различаются от объекта к объекту. Поэтому разработка и применение унифицированного технологического регламента для типовых этапов работ может быть недостаточно достоверной. Наиболее предпочтительным является использование данных проекта консервации конкретного объекта. При отсутствии проекта рекомендуется применение метода аналогий, использующего данные собственного опыта эксплуатации пункта хранения или сходных объектов. В качестве исходных данных могут служить результаты ИДК, усредненные за год, с указанием характерных видов работ, мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) в месте проведения работ, численность персонала и трудозатраты.

Необходимо учитывать, что после завершения работ по консервации пункта хранения РАО, облучения персонала не происходит до этапа проведения работ по реконструкции барьеров безопасности. При оценке дозозатрат персонала при последующем проведении реконструкции барьеров безопасности, необходимо проводить оценку дозы облучения персонала, с учетом того, что с течением времени МАЭД снижается в связи с распадом радионуклидов.

Оценка коллективной эффективной дозы облучения может быть выполнена по следующей формуле:

$$S = \sum (S_j^{внеш.} + S_j^{внутр.}), \quad (3)$$

где $S_j^{внеш.}$ — коллективная эффективная доза персонала за счет внешнего облучения при выполнении j -го этапа работ, чел.-Зв; $S_j^{внутр.}$ — коллективная эффективная доза персонала за счет ингаляционного поступления радионуклидов при выполнении j -го этапа работ, чел.-Зв.

Для проведения оценки **внешнего** облучения персонала, при проведении работ, используется следующая формула:

$$S_j^{внеш.} = 10^{-6} P_j \cdot T_j, \quad (4)$$

где P_j — среднее значение МАЭД на рабочем месте на j -м этапе работ, мкЗв/ч; T_j — трудозатраты на j -м этапе работ, чел.-ч.

Для проведения оценки **внутреннего облучения** персонала за счет ингаляционного поступления радионуклидов на j -м этапе работ используется формула:

$$S_{ОРАО(j)}^{внутр.} = \sum (\epsilon_k \cdot A_{jk} \cdot v_{перс.}) \Delta T_j, \quad (5)$$

где ε_k — дозовый коэффициент для k -го радионуклида, поступающего ингаляционно (Приложение 1 НРБ-99/2009 [6], четвертый столбец), Зв/Бк; A_{jk} — объемная активность k -радионуклида в воздухе на рабочем месте на j -м этапе работ, Бк/м³; $v_{перс.}$ — стандартная скорость вдыхаемого воздуха, 1,4 м³/ч; T_j — трудозатраты на j -м этапе работ в условиях возможного ингаляционного поступления, чел.-ч.

Другой способ оценки внутреннего облучения персонала в результате ингаляционного поступления радионуклидов в организм при выполнении работ, не связанных с интенсивным пылеобразованием, может быть проведен с помощью концепции «нагрузка по массе», которая развита в США и связывает величину поверхностного загрязнения с концентрацией радиоактивного вещества в воздухе. Средняя концентрация радионуклида в воздухе определяется в предположении, что концентрация пыли в зоне дыхания составляет 100 мкг/м³. Тогда при объеме вдыхаемого воздуха для персонала на протяжении календарного года — $2,4 \cdot 10^3$ м³ и удельной активности k -радионуклида в пыли q_k Бк/г, годовое поступление будет равно:

$$P_k [\text{Бк/год}] = 100 [\text{мкг/м}^3] \cdot 2,4 \cdot 10^3 [\text{м}^3/\text{год}] \cdot 10^{-6} [\text{г/мкг}] \cdot q_k [\text{Бк/г}] = 0,24q_k \quad (6)$$

Индивидуальная доза за год от всех радионуклидов составит:

$$E^{сод. внутр.} = \sum(\varepsilon_k \cdot P_k) \quad (7)$$

Если длительность работ на j -й стадии обращения с РАО, характеризующихся пылеобразованием радиоактивных аэрозолей, составляет t_j , часов, то коллективная доза от ингаляционного поступления будет равна:

$$S^{внутр.} = \sum \sum ((\varepsilon_k \cdot P_k) \cdot M_j \cdot t_j) / t_{перс.}, \quad (8)$$

где M_j — численность персонала, задействованного на j -м этапе работ; t_j — средняя длительность работы персонала в условиях ингаляционного поступления на j -м этапе работ, часов; $t_{перс.}$ — стандартное значение времени облучения персонала в течение календарного года, $t_{перс.} = 1700$ ч в год [6].

Оценку коллективной эффективной дозы облучения от ингаляционного поступления следует проводить только для операций, где возможно ингаляционное поступление радионуклидов. К таким работам, как правило, может относиться вскрытие части могильника ТРО.

В ряде случаев при захоронении РАО в месте их нахождения необходимо осуществить работы по извлечению, переработке, кондиционированию, транспортировке и захоронению части извлекаемых РАО (например, извлечение части ЖРО из емкостей-хранилищ). Оценка коллективной эффективной дозы для данных работ рассчитывается также как и для варианта удаления РАО, с учетом характеристик РАО.

Вариант удаления РАО

При оценке коллективной эффективной дозы облучения для варианта удаления РАО расчеты могут проводиться не для всех этапов обращения с РАО в целях обоснованного сокращения объемов расчетов. В первую очередь рассматриваются наиболее дозозатратные этапы. При проведении оценки учитываются: длительность этапа, оценка количества персонала, коллективные эффективные дозы облучения, определяемые на основе опыта проведения аналогичных работ и т.д.

В качестве исходных данных для расчета коллективных эффективных доз облучения персонала может быть использован технологический регламент проведения работ на j - стадиях обращения с РАО, включающий данные о:

- наименовании основных однотипных операций ij ;
- мощностях амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) в местах проведения операций на каждой стадии обращения с РАО, P_{ij} , мкЗв/ч;
- длительности проведения одной операции t_{ij} , ч;
- количестве однотипных операций в год m_{ij} ;
- численности персонала, занятого на каждой операции n_{ij} ;
- общем количестве основных однотипных операций M_j ;
- радионуклидном составе РАО, δ_k ;
- общем объеме РАО, V , м³;
- распределении объема РАО по категориям ОНРАО, НАО, САО, ВАО: $V_{ОНРАО}, V_{НАО}, V_{САО}, V_{ВАО}$;
- плотности РАО — ρ , кг/м³;
- первоначальном пространственном распределении РАО в ПХ (месте их нахождения) по данным КИРО;
- необходимом количестве НЗК или количестве транспортных упаковок с кондиционированными НАО, САО (раздельно по классам удаляемых РАО);
- объеме/массе НЗК;

- удельной активности кондиционированных РАО;
- и др.

Величина коллективной эффективной дозы облучения за весь период потенциальной опасности РАО может быть рассчитана по формуле:

$$S_{УРАО} = \sum \sum S_{УРАОij}, \quad (9)$$

где $S_{УРАО}$ — коллективная эффективная доза персонала за весь период потенциальной опасности, чел-Зв; $S_{УРАОij}$ — коллективная доза на j -м этапе при выполнении i -й операции

Для внешнего облучения:

$$S_{УРАО \text{ внеш. } ij} = 10^{-6} P_{ij} M_j t_{ij} m_{ij} \quad (10)$$

Однако, как для варианта обращения с особыми РАО, так и для варианта удаления РАО более простым способом оценки коллективных доз является метод аналогий.

Например, при ликвидации 10 ПХ РАО на территории НИЦ «Курчатовский Институт» было извлечено около 4000 м³ РАО суммарной активностью более 1,8·10¹³ Бк. Было оценено по фактическим данным ИДК, что удельные дозовые затраты на извлечение, кондиционирование и упаковку особых радиоактивных отходов при работах по ликвидации пунктов их размещения составили [15]:

- средняя индивидуальная годовая доза облучения персонала составила: 1,8 мЗв/год;
- удельная коллективная доза 72,5 чел-мкЗв/м³.
- На наиболее труднодоступном хранилище удельные дозозатраты были примерно в 2 раза выше:
- средняя индивидуальная годовая доза — 3,14 мЗв/год;
- удельная коллективная доза — 176 чел-мкЗв/м³.

Для внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов

$$S_{УРАО \text{ внутр. } ij} = \sum (\varepsilon_k a_{ijk} v_{перс}) P_{ij} M_j t_{ij} m_{ij}, \quad (11)$$

где ε_k — дозовый коэффициент для k -го радионуклида, поступающего ингаляционно (Приложение 1 НРБ-99/2009 — четвертый столбец), Зв/Бк; a_{ijk} — объемная активность k -радионуклида в воздухе на рабочем месте во время выполнения ij -операции, Бк/м³; $v_{перс}$ — стандартная скорость дыхания персонала, 1,4 м³/ч.

Другой способ оценки ингаляционного поступления радионуклидов в организм персонала при выполнении работ, не связанных с интенсивным пылеобразованием, может быть проведен с помощью концепции «нагрузка по массе», формулы (6)-(8). Расчет по указанным формулам проводится только для операций, где возможно ингаляционное поступление. К таким работам, как правило, могут относиться: вскрытие могильника ТРО; извлечение РАО; сортировка РАО; переработка (сжигание) РАО.

При аргументированном разъяснении в обосновывающих материалах эффективности применения средств индивидуальной защиты органов дыхания на этапах работ, связанных с пылеобразованием или применяемых мер по пылеподавлению расчет коллективных доз внутреннего облучения персонала можно не проводить.

Коллективная эффективная доза облучения населения

Для некоторых объектов хранения РАО, в первую очередь с ЖРО и ТРО, размещенных в проницаемых коллекторах следует оценить дозы облучения населения за счет потребления местных пищевых продуктов из источников питьевого водоснабжения, расположенных в зоне разгрузки подземных вод, контактировавших с РАО.

Как правило, значение годовой коллективной дозы населения, проживающего вблизи РОО, указанное в радиационно-гигиеническом паспорте объекта, не может быть использовано, так как оно оценено для действующего предприятия в целом, исходя из величин радиоактивных выбросов/сбросов, а не конкретного ПХ РАО.

Также неуместно использование официальной методики [18], ориентированной на воздушный путь загрязнения среды обитания в зоне влияния РОО.

Для проверки условия непревышения 10 мкЗв/год рекомендуется провести консервативную оценку годовой индивидуальной дозы облучения населения на границе СЗЗ или в ближайшем к месту хранения РАО населенном пункте для сценариев облучения:

- внутреннего облучения за счет поступления с питьевой водой радионуклидов, мигрирующих из пункта хранения (консервации/захоронения) в течение всего периода потенциальной опасности РАО для варианта захоронения РАО в месте их нахождения, до момента удаления РАО из пункта хранения РАО, для варианта удаления РАО.

- внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радионуклидов на технологических этапах, сопровождающихся возможным интенсивным пылеобразованием и переносом радиоактивных аэрозолей в приземном слое воздуха (в течение работ, сопровождающихся пылеобразованием);
- внешнего облучения от загрязненной почвы в результате атмосферного переноса радиоактивности в процессе обращения с РАО.

Если сумма оценок индивидуальных доз не превышают 10 мкЗв/год, то коллективная доза населения для данного места хранения РАО исключается, как параметр сравнения вариантов обращения с РАО.

Расчеты коллективной эффективной дозы населения могут выполняться специалистами предприятия с применением расчетных кодов, например, ECOLEGO, AMBER и др. или в организациях, осуществляющих научно-техническую поддержку первичной регистрации РАО (ИБРАЭ РАН, ФБУ «НТЦ ЯРБ»), а также в других аккредитованных организациях.

Для целей настоящей работы, предлагается использовать адаптированные модели формирования доз облучения населения на основе моделей распространения радионуклидов с водой, приведенных в документе МАГАТЭ [19].

Традиционно, в качестве критической группы населения (для которой реализуются наибольшие дозы облучения) рассматриваются сельские жители. Сценарий ведения фермерского (крестьянского) хозяйства учитывает все пути облучения, которые могут реализоваться вблизи места размещения отходов и поэтому приводит к наибольшей оцененной дозе облучения среди возможных альтернативных сценариев. Концептуальное представление путей облучения для человека, проживающего вблизи места размещения, показано на рис. 2.

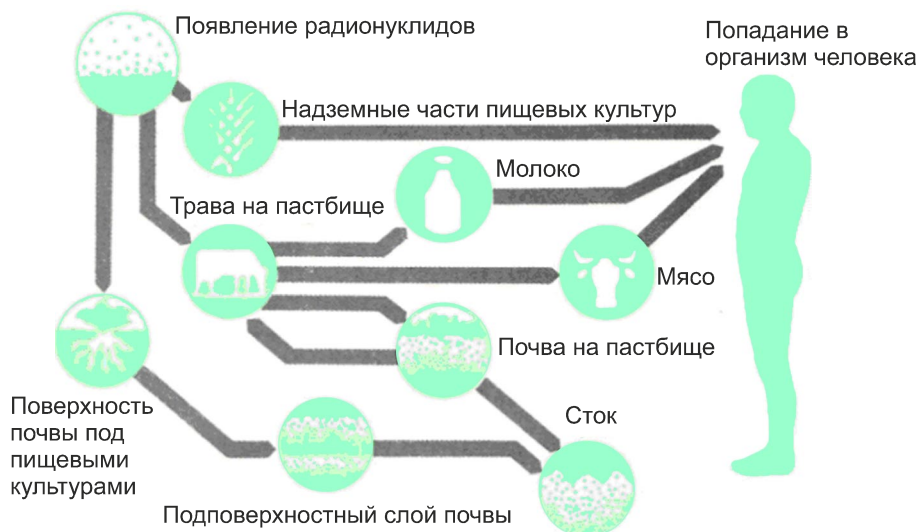


Рисунок 2 — Возможные способы распространения радионуклидов в окружающей среде. Показаны пути, по которым радионуклиды могут попасть в организм человека с пищей, а также пути, которые оканчиваются в подпочвенных слоях грунта

Принимается, что d — толщина верхнего слоя почвы (т. е., глубина проникновения корневой системы растений) составляет 0,3 м. В предположении однокамерной модели, удельная активность A_m , Бк/кг сухого веса, поверхностного слоя почвы при поливе водой с постоянной концентрацией загрязнителя (в начальный момент времени загрязнение почвы равно нулю) через некоторое время T , лет, достигнет значения:

$$A_m = \frac{a}{d\rho} \frac{1 - \exp[-(\lambda_{\text{inf}} + \lambda)T]}{\lambda_{\text{inf}} + \lambda}, \quad (12)$$

где a , Бк/(м² год) — поток радионуклидов на поверхности почвы; λ_{inf} , 1/год — скорость перехода (вымывания) радионуклида из поверхностного слоя почвы в нижележащие слои; λ , 1/год — постоянная распада радионуклида ($\lambda = \ln(2)/\tau$, где τ — период полураспада радионуклида); ρ — плотность сухой почвы, принимается равной 1700 кг/м³.

При условии, что время T достаточно велико по сравнению с характерным параметром $(\lambda_{\text{inf}} + \lambda)^{-1}$, удельная активность достигает насыщения и выражение (12) принимает следующий вид:

$$A_m \approx \frac{a}{d\rho} \frac{1}{\lambda_{inf} + \lambda} \quad (13)$$

Заметим, что равновесная активность не зависит от времени и может быть использована для консервативных оценок, поскольку для большинства радионуклидов длительность временного промежутка в окрестности максимума, когда концентрация в воде может считаться постоянной (с точностью до ~25%), сопоставима с периодом полураспада радионуклида или превышает его.

Значения параметров a и λ_{inf} , входящих в выражение (13), рассчитываются исходя из следующих предположений, основанных на анализе литературных источников:

$$a = C_w d_{irrig} \quad (14)$$

где C_w , Бк/м³ — концентрация активности в поливной воде. При ведении интенсивного поливного земледелия в средней полосе России норма полива d_{irrig} в летний период составляет приблизительно 0,1 м/год (согласуется со значением 0,07 м/год принятым в [19]).

$$\lambda_{inf} = \frac{q_{in}}{\theta_w R d} \quad (15)$$

где q_{in} — количество воды проходящей через поверхность почвы принимается равным 0,340 м/год. В качестве нормы атмосферных осадков принята величина 581 мм, из них 386 мм (66,5 %) приходится на теплый период года (апрель-октябрь). Для расчета миграции радионуклидов в поверхностном слое почвы принимаем количество воды, проходящей через поверхностный слой почвы, как сумму количества осадков приходящихся на теплый период года (386 мм) и норму полива (100 мм), уменьшенную на долю осадков, испаряющихся с поверхности почвы или уходящих с поверхностными стоками (~30 %), т. е. 340 мм/год.

Безразмерный коэффициент задержки R рассчитывается следующим образом:

$$R = 1 + \frac{\rho(1-\theta)K_d}{\theta_w} \quad (16)$$

где θ и θ_w — безразмерные коэффициенты — полная и активная пористость почвы принимаются равными 0,3 и 0,2, соответственно [19]; K_d , м³/кг — коэффициент распределения радионуклида между жидкостью (поровой влагой) и твердой фазой для верхнего слоя почвы.

К продуктам питания, которые могут быть произведены в товарных количествах на рассматриваемой территории, отнесены продукты растительного (овощи) и животного (мясо и молоко) происхождения, произведенные с использованием местных кормов и загрязненной воды для вскармливания крупного рогатого скота.

Концентрация радионуклидов χ_{crop} , Бк/кг свежего веса, в продуктах растительного происхождения рассчитывается с использованием следующего выражения:

$$\chi_{crop} = (CF_{crop} + S_{crop})A_m \quad (17)$$

где CF_{crop} — коэффициент реконцентрации в растениях представляет собой отношение удельной активности, Бк/кг свежего веса, к удельной активности почвы, Бк/кг сухого веса [19]; S_{crop} — загрязненность растительной продукции земель (кг сухого веса почвы на кг свежего веса растительности) принимается равной 10^{-4} [19]; A_m , Бк/кг — удельная активность сухого грунта.

Концентрация радионуклидов χ_{ann} , Бк/кг свежего веса, в продуктах животного происхождения рассчитывается следующим образом:

$$\chi_{ann} = CF_{ann} (C_w Ing_w + \chi_{past} Ing_{past}), \quad (18)$$

где CF_{ann} — коэффициент реконцентрации в продукте животного происхождения (день/кг свежего веса продукта) [19]; Ing_w — скорость потребления воды животным, принимается равной 0,06 м³/день для крупного рогатого скота; C_w — концентрация радионуклида в колодезной воде, Бк/м³; Ing_{past} — скорость потребления свежего корма животным, принимается равной 60 кг/день; χ_{past} — концентрация радионуклидов в свежем корме (Бк/кг свежего веса корма) рассчитывается с использованием следующего выражения:

$$\chi_{past} = (CF_{past} + S_{past})A_m + \frac{\mu_{past} d_{irrig} C_w}{Y_{past} \lambda_{weather} + 365 N_{ann} Ing_{past}} \quad (19)$$

где CF_{past} — коэффициент реконцентрации для растительного корма (Бк/кг свежего веса в расчете на Бк/кг сухого веса почвы) [19]; S_{past} — загрязненность корма землей принимается равным $8 \cdot 10^{-3}$ (кг сухого веса почвы на кг свежего веса корма) [19]; A_m , Бк/кг — удельная активность сухого грунта; μ_{past} — доля перехвата поливной воды растениями, безразмерный коэффициент принимается равным 30 % [19]; d_{irrig} — норма полива, определена выше равной 0,1 м/год; Y_{past} — продуктивность пастбищных угодий, оценивается для поливных сельхозугодий равной 4 (кг свежего веса корма в расчете на 1 м^2), т. е. 400 центнеров с гектара; $\lambda_{weather}$ — скорость удаления поливной воды из растений за счет испарения, принимается равной 18 (1/год) [19]; N_{ann} — плотность животных на единицу площади, для поливных сельхозугодий оценивается равной $3,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-2}$ (три коровы на гектар); 365 — переводной коэффициент, день/год.

Удельные активности продуктов питания, произведенных при ведении индивидуального традиционного хозяйства, т. е. при отсутствии системы ирригации с использованием грунтовых вод (исключается вынос радионуклидов из водоносного горизонта на дневную поверхность), могут быть получены, если в описанной выше модели положить удельные активности почвы и, соответственно, растительных продуктов равными нулю. При этом поступление радионуклидов в продукты животного происхождения будет обусловлено только использованием колодезной воды для водопоя скота.

Оценка эффективной дозы на население производится суммированием по всем путям формирования внутреннего и внешнего облучения. Внутреннее облучение происходит за счет потребления в пищу продуктов местного производства, потребления колодезной воды для питьевых целей и вдыхания воздуха, загрязненного взвешенными частицами пыли. Доза внешнего облучения формируется за счет пребывания человека на поверхности загрязненной (в результате полива) земли и использования загрязненной воды в бытовых целях.

Годовая эффективная доза облучения за счет перорального поступления радионуклидов в организм человека E_{per} , Зв/год, рассчитывается с использованием следующего выражения:

$$E_{per} = \varepsilon_{per}(Q_{dust}TA_m + C_wIng_w + \sum \chi_i Ing_i), \quad (20)$$

где суммирование производится по всем учтенным категориям пищевых продуктов (овощи, мясо и молоко), для которых выше рассчитаны удельные концентрации радионуклидов χ_i , Бк/кг; Ing_i — норма потребления i -го продукта питания, кг/год, оценивается по статистическим данным потребления основных продуктов питания в 1992-1996 годах: молоко — 220, мясо — 55, овощи — 190 [20]; C_w — концентрация радионуклида в колодезной воде, Бк/м³; Q_{dust} — количество пыли осевшей на поверхности предметов и поступающей в организм за единицу времени 10^{-5} кг/ч, принимается по данным работы [21]; T — время пребывания на открытой местности 4380, ч/год (половина времени) [19]; Ing_w — водопотребление, принимается равным $0,73 \text{ м}^3/\text{год}$ ($2 \text{ л}/\text{день}$, [6]); ε_{per} — коэффициент внутреннего облучения при поступлении в организм радионуклида пероральным путем, Зв/Бк, принимаются в соответствии с НРБ-99/2009, Приложение 2 [6].

Годовая эффективная доза ингаляционного облучения E_{inh} , Зв/год, рассчитывается с использованием следующего выражения:

$$E_{inh} = \varepsilon_{inh} T v_a C_{dust} A_m, \quad (21)$$

где C_{dust} — концентрация пыли в воздухе, принимается равной $2 \cdot 10^{-6} \text{ кг}/\text{м}^3$ [19]; T — время пребывания на открытой местности 4380, ч/год (половина времени) [19]; v_a — количество воздуха вдыхаемого в единицу времени $1,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, [6]; ε_{inh} — коэффициент внутреннего облучения при поступлении в организм радионуклида ингаляционным путем, Зв/Бк, принимаются в соответствии с НРБ-99/2009, Приложение 1 [6].

Годовая эффективная доза внешнего облучения E_{ext} , Зв/год, рассчитывается с использованием следующего выражения:

$$E_{ext} = A_m \rho TDC_{ext-soil}, \quad (22)$$

где A_m , Бк/кг, — удельная активность сухого грунта; ρ — плотность сухой почвы, принимается равной $1700 \text{ кг}/\text{м}^3$; T — время пребывания на открытой местности 4380, ч/год, [19]; $DC_{ext-soil}$ (Зв ч^{-1})/(Бк м^{-3}) — дозовые коэффициенты облучения для случая пребывания на поверхности загрязненной почвы приняты из документа МАГАТЭ [19].

Если каждая из составляющих годовой индивидуальной дозы для варианта консервации ПХ РАО не превышает 3 мкЗв , то коллективная эффективная доза населения не рассчитывается для целей сравнения вариантов обращения с РАО. Такой консервативный подход дает дополнительные гарантии непревышения уровня $10 \text{ мкЗв}/\text{год}$.

В противном случае значение суммарной индивидуальной дозы умножается на численность населения, проживающего в настоящее время в зоне наблюдения РАО и количество лет, для которых любая из

составляющих годовой дозы превышает 3 мкЗв. Такое усечение расчетов соответствует НРБ-99/2009 и позволяет избежать больших неопределенностей в оценках доз в отдаленном будущем.

6 Оценка рисков потенциального облучения

В НРБ-99/2009 введено понятие потенциального облучения — «облучения, которого нельзя ожидать с абсолютной уверенностью, но которое может иметь место в результате аварии с источником либо события или последовательности событий гипотетического характера, включая отказы оборудования и ошибки во время эксплуатации».

При обосновании защиты от источников потенциального облучения в течение года принимаются следующие граничные значения обобщенного риска (произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности смерти, связанной с облучением): персонал — $2 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹; население — $1 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹ [6].

Указанное ограничение *индивидуального риска* потенциального облучения должно применяться при обосновании радиационной безопасности персонала и критической группы населения на всех этапах обращения с РАО (также как применяются ограничения индивидуальных годовых доз в нормальном режиме обращения с РАО). При этом должны быть оценены максимально возможные индивидуальные дозы.

В отличие от НРБ-99/2009 в ПП № 1069 установлены интегральные показатели радиологического вреда за весь период потенциальной опасности: коллективная доза и риск потенциального облучения. Эти критериальные параметры предназначены исключительно для сравнения альтернативных вариантов обращения с РАО. Исходя из этого содержания критериев, должны быть оценены средние дозы у лиц, вовлеченных в возможные аварийные ситуации, и численность этих лиц.

Для обоснования отнесения РАО к особым РАО должно выполняться следующее неравенство:

$$R_{OPAO} < R_{YPAO}, \quad (23)$$

где R_{OPAO} — обобщенный риск потенциального облучения при захоронении РАО в месте их нахождения; R_{YPAO} — обобщенный риск потенциального облучения, связанный с удалением РАО и захоронением в централизованном ПЗ РАО.

Причинами радиационных аварий, могут быть внешние воздействия на объект, вследствие природных и антропогенных чрезвычайных ситуаций, а также технологические аварии на этапах обращения с РАО.

В таблице 2 дан примерный перечень нештатных событий и чрезвычайных ситуаций, которые могут приводить к радиационным авариям.

Таблица 2 Варианты возможных аварийных ситуаций на разных стадиях обращения с РАО

Вариант консервации		Вариант удаления	
Внешние воздействия*	Технологические аварии	Внешние воздействия**	Технологические аварии
Сейсмические воздействия	Нарушения в системе энерго-снабжения	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	

* На весь период потенциальной опасности РАО

** На период удаления РАО из места нахождения в ПЗ РАО

Перечень возможных причин радиационной аварии может быть расширен или сокращен с учетом состояния инженерных барьеров, характеристики РАО и местных условий.

Оценка рисков, связанных с внешними воздействиями на объект (смерч)

Риски, связанные с внешними воздействиями (ураган, сейсмическое воздействие, наводнение и т. д.), могут быть описаны. Возможны две ситуации по срокам реализации.

В первой продолжительность работ по удалению существенно (10-100 раз) превосходит вариант с консервацией. Поскольку вероятность внешнего воздействия прямо пропорциональна продолжительности рассматриваемого периода времени, то более детального рассмотрения требует именно вариант удаления.

Во втором, более простом случае, сроки работ по консервации и удалению приблизительно одинаковы. Для обоснования равенства рисков необходимо принимать во внимание, что воздействия связаны с одним и тем же объектом в один и тот же временной период проведения работ. Кроме того, в обоих вариантах частично или полностью вскрываются барьеры безопасности.

В качестве исходных данных для таких оценок могут быть использованы данные, приведенные в планах мероприятий по защите персонала и населения в случае радиационной аварии на объекте. Согласно ОСПОРБ-99/2010 (п. 6.4) [8], в этих планах 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.

В случае если таких исходных данных нет, то оценка обобщенного риска потенциального облучения для персонала и населения в случае чрезвычайных ситуаций природного характера может быть выполнена для наиболее опасного явления. В качестве такового определен смерч, который будет захватывать часть РАО. При этом прямая связь между количеством РАО, находящихся на объекте, и последствиями отсутствует. Важно только, какой это пункт хранения. Последствия иных чрезвычайных ситуаций являются менее значимыми, поскольку при их реализации отсутствуют физические предпосылки для переноса радиоактивности на заметные расстояния.

Расчет обобщенного риска потенциального облучения для пунктов хранения РАО при прохождении смерча производится по формуле:

$$R = P \cdot S_{\text{вод.}} \cdot \frac{A}{S_{\text{загр.}}} \cdot N \cdot \varepsilon_{\text{внеш.}} \cdot \varepsilon_{\text{D}} \cdot \tau, \quad (24)$$

где P — вероятность возникновения смерча, 1/(год·м²); $S_{\text{вод.}}$ — площадь открытой части поверхностного пункта хранения РАО, м²; A — суммарная активность, выносимая смерчем из пункта хранения РАО, Бк; $S_{\text{загр.}}$ — площадь загрязнения территории, м²; $\varepsilon_{\text{внеш.}}$ — дозовый коэффициент внешнего облучения, Зв·м²/(Бк·год); $\varepsilon_{\text{D}}=0,01$ (1/чел.-Зв) — коэффициент риска смерти в результате дополнительного облучения [6]; τ — относительная продолжительность воздействия, б/р.

При проведении работ по удалению РАО площадь открытой части поверхности пункта хранения увеличивается, кроме того, увеличивается продолжительность работ. Водоемы-хранилища ЖРО — это «наихудший случай». В отношении рисков, связанных с внешними воздействиями (ураган, сейсмическое воздействие, наводнение и т. д.), после завершения проведения работ по консервации или удалению целесообразно сделать утверждение, что они будут на три-четыре порядка ниже и примерно одинаковы, так как после проведения работ данные объекты должны соответствовать одним и тем же требованиям федеральных норм и правил.

Оценка рисков, связанных с авариями при выполнении работ при удалении РАО

Среди всех основных технологических операций по обращению с РАО должны быть выделены наиболее аварийные. К ним относятся работы по извлечению РАО, погрузочно-разгрузочные работы и транспортирование упаковок как в пределах объекта, так и по дорогам общего пользования.

Расчет обобщенного риска потенциального облучения персонала при транспортировании кондиционированных ТРО в централизованный пункт хранения РАО проводится по формуле:

$$R_{\text{mp}}(T) = 0,05 \cdot V \cdot (\sum P_i S_{i \text{ неpc}} + \sum P_j S_{j \text{ неpc}}), \quad (25)$$

где V — объем радиоактивных отходов после переработки, м³; P_i — вероятность аварий на i -м этапе погрузочно-разгрузочных работ в расчете на 1 м³ кондиционированных РАО м⁻³; $S_{i \text{ неpc}}$ — коллективная доза персонала при ликвидации аварии на i -м этапе погрузочно-разгрузочных работ, чел.-Зв; P_j — вероятность транспортной аварии при перевозке 1 м³ кондиционированных РАО j -м видом транспорта, м⁻³; $S_{j \text{ неpc}}$ — коллективная доза персонала и участников ликвидации транспортной аварии в случае аварийного события на j -м видом транспорта.

Расчет годового обобщенного риска персонала при транспортировании кондиционированных ТРО объемом $V_{\text{год}}$ в централизованный пункт хранения РАО проводится по формуле:

$$R_{\text{год}} = 0,05 V_{\text{год}} (\sum P_i S_{i \text{ неpc}} + \sum P_j S_{j \text{ неpc}}) \quad (26)$$

Основные операции технологического процесса погрузки-выгрузки грузов включают в себя:

- начальную операцию, которая выполняется в месте складирования ТУК;
- промежуточную операцию перемещения ТУК, включая передаточные этапы с учетом условий перемещения и характеристики используемых машин, приспособлений и транспортных средств;
- конечную операцию, которой завершается погрузочно-разгрузочный процесс, целью которой является размещение ТУК в централизованном ПЗ РАО.

При расчете обобщенного риска потенциального облучения на этапе погрузочно-разгрузочных работ используются следующие исходные данные и допущения [22]:

(1) В качестве исходных событий, приводящих к аварии, и аварийных ситуаций учтены:

- отказы в работе погрузочных механизмов;
- ошибки обслуживающего персонала;
- зависание ТУК на гаке погрузочного механизма;
- падение ТУК на конструкции, территорию промплощадки, грузовую машину или вагон.

(2) Типовые действия персонала при возникновении аварийных ситуаций, во время которых формируются индивидуальные и коллективные дозы включают следующее:

- укрытие пластикатовой пленкой места под зависшим ТУК на земле;
- опускание ТУК на подготовленное место резервным механизмом;
- восстановление работоспособности погрузочного механизма;
- перемещение груза в место назначения;
- радиационное обследование места аварии.

(3) Разрушения ТУК не происходит и уровни излучения в месте аварии соответствуют максимальным значениям МАЭД для соответствующей транспортной категории (таблица 3).

Таблица 3 Уровни излучения от радиационных упаковок различных транспортных категорий [23]

Транспортная категория упаковки	Максимальное значение амбиентного эквивалента мощности дозы на расстояниях от упаковки, мЗв/ч		
	На поверхности	1 м	10 м
III (для НАО)	2,0	0,1	0,016
IV (для САО)	10,0	0,5*	0,08

*) значение МАЭД оценено из норматива на поверхности упаковки

В таблице 4 приведены параметры для оценки риска и коллективных доз при погрузке ТУК, заимствованные из методических указаний Ростехнадзора РД 10-04-2006 [22]. Так как методические указания относятся к транспортированию РИТЭГов (в т. ч. аварийным ситуациям), то оценки трудозатрат при обращении с ТУК следует считать консервативными.

Таблица 4 Параметры для оценки обобщенного риска при погрузке-выгрузке ТУК [22]

Операция	Вероятность аварии, час ⁻¹	Трудо-затраты, чел ч/ТУК	МАЭД, мЗв/час		Коллективная доза, 10 ⁻³ чел-Зв	
			НАО	САО	НАО	САО
Подготовительные работы	6·10 ⁻⁴	20	0,016	0,08	0,32	1,6
Погрузка в вагон	3·10 ⁻⁴	40	0,1	0,5	4,0	20
Выгрузка из вагона	3·10 ⁻⁴	40	0,1	0,5	4,0	20
Погрузка на спецмашину	5·10 ⁻⁴	10	0,1	0,5	1,0	5,0
Выгрузка из спецмашины	5·10 ⁻⁴	10	0,1	0,5	1,0	5,0

С учетом данных таблицы 4 составляющая обобщенного риска потенциального облучения при погрузочно-разгрузочных работах оценивается следующим образом:

$$R_{mp(n-в)} = 5 \cdot 10^{-5} N_{ТУК} p_{iТУК} t_{iТУК} M_{iТУК} МАЭД_i, \quad (27)$$

где $N_{ТУК}$ — общее количество ТУК; $p_{iТУК}$ — вероятность аварии на i -й операции работ, ч⁻¹; $t_{iТУК}$ — нормативы времени на погрузочно-разгрузочные работы в нормальных условиях эксплуатации, ч [24]; $M_{iТУК}$ — трудозатраты при выполнении i -й операции после аварии, чел.-ч; $МАЭД_i$ — мощность амбиентного эквивалента дозы, мЗв/ч. Консервативно принимается, что персонал при проведении основных операций (исключая подготовительные) находится на расстоянии 1 м от поверхности ТУК.

В расчете на 1 м³ кондиционированных отходов обобщенный риск потенциального облучения на этапе погрузки-выгрузки оценивается по формуле:

$$r_{mp(n-в)} = 3,3 \cdot 10^{-5} p_{iТУК} t_{iТУК} M_{iТУК} МАЭД_i \quad (28)$$

Ориентировочно $t_{\text{ТУК}}$ составляет 10-15 мин при погрузке в машину (так называемое время простоя машины под погрузку одного контейнера) и 15-20 мин — при погрузке в вагон. Следовательно, приближительная оценка обобщенного риска $r_{\text{мп(н-в)}}$ равна $2,4 \cdot 10^{-8}$ и $1,2 \cdot 10^{-7}$ для погрузки-выгрузки в железнодорожный вагон 1 м^3 НАО и САО соответственно. Для погрузки-выгрузки НАО и САО в спецмашину значения равны $6,7 \cdot 10^{-9}$ и $3,3 \cdot 10^{-8}$ м.

При расчете обобщенного риска потенциального облучения на этапе перевозки используются следующие исходные данные и допущения:

- транзитное хранение РАО не предусмотрено регламентом перевозки;
- транспортирование осуществляется одним из видов перевозки автомобильным или по железной дороге;
- учитываются только аварийные ситуации на дорогах общего пользования;
- в качестве ТУК используются контейнеры объемом $1,5 \text{ м}^3$ кондиционированных РАО (например, невозвратный защитный контейнер НЗК-150-1,5П);
- автомобиль может перевозить 1 или 4 упаковки РАО, т. е. $1,5$ или 6 м^3 кондиционированных отходов;
- в железнодорожном составе находится 1 или 5 вагонов с 10 ТУК на один вагон;
- мощность дозы на различных расстояниях от ТУК соответствует максимальным значениям амбиентного эквивалента мощности дозы (МАЭД) для III (при транспортировании НАО) и IV (при транспортировании САО) транспортных категорий. В качестве разделяющих расстояний при выборе опорных значений МАЭД при ликвидации аварии использованы 1 м и 10 м.

Обобщенный риск потенциального облучения может быть оценен следующим образом:

$$R_{\text{мп(перевозка)}} = 5 \cdot 10^{-5} p_{\text{ТС}} L N_{\text{езд}} T_{\text{мп}} S, \quad (29)$$

где $p_{\text{ТС}}$ — вероятность тяжелой транспортной аварии в год на 1 км пути, определяется из официальной статистики дорожно-транспортных происшествий, тяжелых железнодорожных аварий и катастроф и методических указаний [22], $(\text{год} \cdot \text{км})^{-1}$; L — длина транспортного маршрута, км; $N_{\text{езд}}$ — число поездок в год, равное числу перевезенных ТУК, деленному на количество ТУК перевозимых за одну поездку, год^{-1} ; $T_{\text{мп}}$ — срок, требуемый для перевозки всех кондиционированных РАО в централизованный ПЗ РАО, равный общему количеству ТУК, деленному на количество ТУК, перевозимых за год, год; S — коллективная доза при проведении аварийных работ, равная коллективной дозе в расчете на один ТУК, умноженная на число ТУК, перевозимых транспортным средством и вовлеченных в аварию, чел.-мЗв.

Принимая объем РАО в ТУК $1,5 \text{ м}^3$, получим следующую оценку обобщенного риска при перевозке 1 м^3 кондиционированных отходов:

$$r_{\text{мп(перевозка)}} = 3,3 \cdot 10^{-5} p_{\text{ТС}} L S_{\text{ТУК}} \quad (30)$$

Вероятность тяжелой железнодорожной аварии с разрушением вагонов, перевозящих РАО, $p_{\text{ТС}} = 2 \cdot 10^{-8} (\text{год км})^{-1}$. Вероятность тяжелой автомобильной аварии со спецавтомобилем, перевозящим упаковки с РАО, $p_{\text{ТС}} = 2 \cdot 10^{-6} (\text{год км})^{-1}$.

Типовые виды аварийных операций и опорные значения трудозатрат и дозозатрат приведены в таблице 5.

Таблица 5 Типовые виды аварийных работ и ориентировочные трудозатраты и дозозатраты в случае транспортной аварии на этапе перевозки

Операция*	Трудозатраты, чел-час/ТУК [22]*	МАЭД, мЗв/час		Коллективная доза, 10^{-3} чел-Зв/ТУК	
		НАО	САО	НАО	САО
Ограничение доступа в зону аварии	2400	0,0001	0,0005	0,24	1,2
Радиационная разведка	20	0,1	0,5	2,0	10,0
Техническая разведка	20	0,016	0,08	0,32	1,6
Подготовительные работы	60	0,016	0,08	0,64	3,2
Демонтаж крепления ТУК в ТС	10	0,1	0,5	1,0	5,0
Перемещение ТУК на грузовую площадку	10	0,1	0,5	1,0	5,0
Перегрузка ТУК в исправное ТС	10	0,1	0,5	1,0	5,0
Деактивация	40	0,016	0,08	0,64	3,2
Итого				6,84	34,2

* Перечень операций и трудозатраты могут уточняться эксплуатирующей организацией с учетом опыта аварийных работ

В окончательном виде для принятых исходных данных обобщенный риск при транспортировке 1 м^3 кондиционированных РАО, r_{mp} определяется суммированием составляющих, рассчитанных по формулам (28) и (30):

$$r_{mp} = 3,3 \cdot 10^{-5} (\sum p_{iTYK} t_{iTYK} M_{iTYK} MAЭД_i + p_{TC} L S_{TYK}) \quad (31)$$

Ориентировочные значения обобщенного риска потенциального облучения для железнодорожных и автомобильных перевозок на расстояние 100 км 1 м^3 НАО и САО даны в таблице 6.

Таблица 6 Обобщенный риск потенциального облучения персонала при транспортировке 1 м^3 РАО на расстояние 100 км

Вид транспорта	Категория отходов			
	НАО		САО	
	$r_{mp(n-в)}$	$r_{(ma)}$	$r_{mp(n-в)}$	$r_{(ma)}$
Железнодорожный	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$
Автомобильный	$6,7 \cdot 10^{-9}$	$4,6 \cdot 10^{-8}$	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$

Приведенный пример иллюстрирует то, что для железнодорожного транспортирования определяющим является вклад в риск потенциального облучения этапа погрузки-разгрузки, в то время как для автомобильного транспортирования — этап перевозки.

7 Оценки затрат для двух вариантов обращения с РАО

7.1 Оценка затрат на захоронение РАО в месте их нахождения

Оценка затрат в случае отсутствия проекта по консервации пункта хранения РАО

В случае если не разработан проект по консервации, рекомендуется провести ориентировочный расчет стоимости работ по консервации в следующей последовательности:

Шаг 1. Проводится анализ имеющейся информации о пункте хранения и размещенных в нем отходов:

1. Данные по объему (V_k) накопленных РАО и их категорий берутся на основе данных СГУК РВ и РАО (системы государственного контроля и учета радиоактивных веществ и РАО) с учетом применявшегося до ПП №1069 категорирования РАО.
2. Определяется период потенциальной опасности РАО (Т), удельная активность альфа-излучателей, основные радионуклиды, доля РАО, содержащих долгоживущие радионуклиды.

В случае если отсутствуют достаточные сведения, для расчета периода потенциальной опасности РАО, для отходов, не содержащих долгоживущих радионуклидов, период потенциальной опасности принимается равным 100 лет для НАО (согласно категоризации ОСПОРБ-99/2009 [8]), 600 лет для САО (согласно категоризации ОСПОРБ-99/2009 [8]).

Шаг 2. Проводится анализ состояния пункта хранения. По имеющейся проектной, конструкторской, эксплуатационной документации устанавливается:

1. площадь пункта хранения ($S_{пх}$);
2. периметр пункта хранения ($L_{пх}$);
3. есть ли необходимость в создании отводных каналов вод;
4. есть ли необходимость в сооружении покрывающего экрана;
5. периметр и площадь ореола загрязнения (L_o, S_o), в случае если такое загрязнение выявлено;
6. есть ли необходимость в заполнении пустот между упаковками, определяется объем пустот (V_n) на основании имеющейся документации;
7. оценивается объем и категория РАО, которые должны быть удалены при проведении работ по консервации ПХ (для емкостей-хранилищ ЖРО и т. д.);
8. есть ли необходимость в проведении работ по реабилитации загрязненной территории, определяется площадь загрязненной территории (S_t);
9. есть ли необходимость в проведении работ по гидроизоляции пункта хранения, с проведением работ по вскрытию фундамента и его гидроизоляции (для специализированных зданий и др.).

Шаг 3: Проводится анализ необходимых работ по созданию покрывающего экрана, если данные работы должны быть сделаны для консервации ПХ РАО. В таблице 7 приведены характеристики покрывающих экранов, для разных типов пунктов хранения РАО. Для оценки затрат на создание покрывающего экрана, необходимо оценить объем работ, стоимость материалов и объем необходимых материалов, а также затраты на работы по созданию покрывающего экрана.

Таблица 7 Характеристики покрывающих экранов пунктов хранения РАО

Категория РАО	Характеристика покрывающего экрана
НАО	Например [25]: «Грунт с травяным покрытием слой грунта (морена — 1 м) слой гидроизолирующего материала (гео-текстиль) слой глины — 1 м слой гидроизолирующего материала (гео-текстиль)»
	Например[26]: «Грунт с травяным покрытием Защитный слой гравия Защитный слой из глины Дренирующий слой Геомембрана Глиняный курган»
САО	Например[27]: «Почвенный слой Песчаный слой с дефолиантами Песчаный защитный слой Глиняный экран Песчаный грунт –курган Слой гравия Песчаный грунт»
САО с ВАО	Например[28]: «Корнеобитаемый слой (0,5м) — травяное покрытие 2-й гидроизолирующий слой — 0,5 м (сооруженный послойно из местного суглинка с уплотнением, при котором коэффициент фильтрации материала составит 0,05м/сут) Капиллярно-прерывающий слой (0,5м) — щебень разной фракции 1-й гидроизолирующий слой 0,5м до 1м — выравнивающий (сооруженный послойно из местного суглинка с уплотнением, при котором коэффициент фильтрации материала составит 0,05м/сут) Скальный грунт По периметру сооружается гидроизолирующий экран-дамба с глиняным экраном»

Шаг 4: Проводится анализ затрат на захоронение РАО в месте их нахождения. После проведения анализа всей имеющейся документации и составления укрупненного перечня работ по консервации пункта хранения, уточняется, корректируется с учетом особенностей пункта хранения и необходимого списка работ, заполняется таблица 8.

Таблица 8 Оценка затрат на отдельные виды работ по захоронению РАО в месте их нахождения

Виды работ	Формула для расчета затрат	Удельные затраты	Затраты, тыс. руб.
Затраты на создание отводных каналов (P_o)	$P_o = L_{nx} \cdot P^o$	$P^o = 30$ тыс. руб./м	
Затраты на создание покрывающего экрана (P_s)	$P_s = S_{nx} \cdot P^s$	P^s	
Затраты на омоноличивание РАО (P_n)	$P_n = V_n \cdot P^n$	$P^n = 10$ тыс. руб./м ³	
Затраты на создание барьеров на пути миграции радионуклидов из ПХ, локализации ореола загрязнения (P_o)	$P_o = \max(L_{nx}; L_o) \cdot P^o$	$P^o = 230$ тыс. руб./м.	
Затраты на проведение гидроизоляции с вскрытием внешней стороны барьеров безопасности (для специализированных зданий) и дальнейшей обваловкой периметра здания (P_r)	$P_r = S_{nx} \cdot P^r$	$P^r = 150$ тыс. руб./м ²	
Затраты на проведение реабилитации территории (P_t)	$P_t = S_t \cdot P^t$	$P^t = 60$ тыс. руб./м ²	
Затраты на извлечение, переработку, кондиционирование, транспортировку и захоронение части извлекаемых РАО (P_y)	Рассчитывается в соответствии с методикой определения состава затрат, утверждаемой Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» (P_y), с учетом категории и характеристик РАО		

Затраты на проведение работ по консервации пункта хранения	$P_k = P_6 + P_9 + P_n + P_o + P_r + P_r + P_y$	
Затраты на подготовительные мероприятия (проведение КИРО, разработка проекта, получение лицензии, ООБ и др.).	$= 0,1 \cdot P_k$ где 0,1 — характерное соотношение стоимости комплекса подготовительных работ и реализации проекта.	
Затраты на мониторинг пункта хранения РАО	$= 0,0012 \cdot P_k \cdot T$, где 0,0012 — ежегодные затраты на проведение мониторинга приповерхностного ПЗ РАО в соответствии с Инвестиционной программой ФГУП «НО РАО» составляют в среднем 0,0012 от стоимости строительства объекта.	
Затраты на работы по реконструкции барьеров безопасности	$= 0,3 \cdot P_k \cdot N$, где N — количество реконструкций барьеров безопасности до перевода в пункт захоронения (рассчитывается делением срока, в течение которого легкомигрирующие радионуклиды распадутся до уровней ПЗУА, согласно ПП№1069, на 30 лет); 0,3 — максимальное соотношение между стоимостью сооружения и реконструкцией в случае её проведения в регламентные сроки.	
Затраты на работы по переводу пункта консервации в пункт захоронения	$= 0,4 \cdot P_k$, где 0,4 — соотношение для этапа увеличено в связи с необходимостью более детального обоснования истечения срока потенциальной опасности.	
Общие затраты на захоронение РАО в месте их нахождения	$= (1,5 + 0,0012 \cdot T + 0,3 \cdot N) P_k$	

где P^6 — удельные расходы на создание отвода поверхностных вод, сформированная на основании уже проведенных работ (ФГУП «РосРАО», ФГУП «ГХК», ФГУП «ПО «Маяк», ОАО «СХК»); P^n — оценка удельных расходов на омоноличивание РАО в пункте хранения для проведения работ по консервации, сформированная на основании уже проведенных работ и разработанных проектов по консервации типовых пунктов хранения РАО (ФГУП «ГХК», ФГУП «ПО «Маяк», ОАО «СХК», ФГУП «РосРАО»); P^o — оценка удельных расходов на создание барьера на пути миграции радионуклидов из пункта хранения, сформированная на основании уже проведенных работ и разработанных проектов по консервации типовых пунктов хранения РАО (ОАО «СХК»); P^r — оценка удельных расходов на проведение гидроизоляции с вскрытием внешней стороны барьеров безопасности; P^y — оценка удельных расходов на реабилитацию загрязненной территории, сформированная на основании данных по уже проведенным работам в отрасли.

Оценка затрат при наличии проекта по консервации пункта хранения РАО

При наличии проекта консервации, оценка затрат на перевод пункта консервации в пункт захоронения и проведение мониторинга оцениваются исходя из сведений проекта, в том числе:

- данные по проектному сроку эксплуатации (T_3) пункта консервации (срок службы барьеров безопасности);
- данные по срокам потенциальной опасности РАО (T);
- затраты на подготовительные мероприятия (проведение КИРО, разработка проекта, получение лицензии, ООБ и др.) (P_n);
- затраты на проведение работ по мониторингу пункта консервации (P_m);
- затраты на проведение работ по консервации ПХ РАО (P_k).

На основании данных проекта консервации проводится оценка затрат на работы по реконструкции барьеров безопасности, работ по переводу пункта консервации в пункт захоронения РАО (таблица 9).

В случае отсутствия каких-либо сведений для проведения оценки затрат на захоронение в месте их нахождения в проекте консервации пункта хранения, оценка выполняется аналогично для ситуации, когда проект консервации не разработан.

Таблица 9 Оценка затрат на отдельные виды работ по захоронению РАО в месте их нахождения

Виды затрат	Формула для расчета затрат	Затраты, тыс. руб.
Затраты на работы по реконструкции барьеров безопасности	$= 0,3 \cdot P_k \cdot N$, где N — количество реконструкций барьеров безопасности до перевода в пункт захоронения (рассчитывается делением срока, в течение которого легкомигрирующие радионуклиды распадутся до уровней ПЗУА, согласно ПП№1069, на T , лет).	
Затраты на работы по переводу пункта консервации в пункт захоронения	$= 0,4 \cdot P_k$	
Общие затраты на захоронение РАО в месте их нахождения	$= (1,4 + 0,3 \cdot N) \cdot P_k + P_m + P_n$	

7.2 Оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения

Под величиной совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения (далее — совокупный вред) понимается денежный эквивалент ущерба за счет нанесенного вреда биоте в период до завершения работ по консервации, в случае, если такой ущерб наносится. Оценка совокупного вреда биоте основывается на российских правовых, нормативных и методических документах, методологии МКРЗ, отчетах НКДАР ООН, нормах МАГАТЭ и [5, 29–42].

- Идентифицируются источники радиационно-экологического воздействия.
- Определяется территория воздействия пункта хранения РАО.
- Определяются на основе регионального подхода референтные объекты окружающей среды.
- Проводится оценка значений мощности дозы облучения референтных объектов ОС и сопоставление с экологически безопасными уровнями облучения для них (консервативно, 1 мГр/сут — для организмов животного мира и 10 мГр/сут — для организмов растительного мира).
- Определяются виды и численность экземпляров, для которых превышаются экологически безопасные уровни.
- Вычисление монетарного размера вреда на основе такс, установленных постановлениями Правительства Российской Федерации и нормативами Минприроды.

Рисунок 3 — Последовательность шагов при оценке размера совокупного вреда

Оценка потенциального радиационного воздействия на объекты окружающей среды в случае захоронения РАО в месте их нахождения производится путем оценки мощности дозы облучения для референтных организмов, обитающих вблизи пункта хранения РАО.

Анализ радиационного воздействия на референтные объекты окружающей среды производится на территории воздействия пункта хранения РАО. Территория воздействия — территория, на которой осуществлялось или будет осуществляться радиационное воздействие, а также сопредельная территория, на которой сказывается это воздействие. Временной период воздействия — период, в течение которого осуществляется воздействие на объекты животного мира и/или их среду обитания, сказываются последствия этого воздействия. Принимается, что интервал времени охватывает период с 2014 г. до даты окончания проведения работ по консервации пункта хранения РАО. Либо с 2014 по 2070 годы, начиная с текущего состояния объекта до момента изоляции РАО от окружающей природной среды в пункте консервации/захоронения, в случае если не установлен срок окончания работ по консервации пункта хранения РАО.

Анализ радиационной защищенности объектов окружающей среды включает в себя следующие этапы:

(1) Идентификация источников радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды. Консервативно предполагается, что потенциально все радионуклиды, поступающие в окружающую среду, могут быть источниками радиационного воздействия. В соответствии с принципом необходимости учета множественных путей воздействия первоначально рассматриваются все возможные пути облучения объектов растительного и животного мира, и иных организмов:

- текущее поступление радионуклидов в компоненты природной среды от рассматриваемого объекта;
- радиоактивное загрязнение компонентов природной среды в результате предшествующей деятельности объекта, а также в результате радиационных аварий.

В случае если на рассматриваемой территории естественный радиационный фон превышен за счет непосредственного влияния пункта хранения РАО (эксплуатация/аварии), проводится дальнейшая оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде.

(2) Анализ данных мониторинга радиационной обстановки и модельных оценок переноса радионуклидов в окружающей среде. Обобщаются данные наблюдений за мощностью дозы внешнего гамма-излучения, удельными и объемными активностями радионуклидов в компонентах природной среды в районе расположения рассматриваемого объекта.

(3) Радиологическая безопасность биологических видов, отличных от человека, должна подтверждаться оценками дозовых нагрузок на референтные организмы, независимо от оценок радиологической безопасности персонала и населения [5,7, 30–31, 43]. Выбор референтных объектов окружающей среды на основе следующих критериев:

- экологическая значимость представителей растительного и животного мира (согласно критерию экологической значимости рекомендуется производить выбор референтных объектов окружающей

среды из числа организмов доминирующих видов основных трофических уровней рассматриваемой региональной экосистемы, осуществляющих главные потоки энергии и биомассы в экосистеме);

- доступность для радиоэкологического мониторинга (согласно дозиметрическому критерию, рекомендуется производить выбор референтных объектов для основных путей облучения);
- радиочувствительность (согласно критерию радиочувствительности, рекомендуется производить выбор референтных объектов среди организмов радиочувствительных видов и исключать из рассмотрения большинство радиоустойчивых видов);
- способность к самовосстановлению (согласно критерию самовосстановления низкий потенциал восстановления может использоваться как критерий для выбора референтных объектов наиболее уязвимых по отношению к радиационно-экологическому воздействию).

Если объект биоты удовлетворяет всем или большей части вышеупомянутых критериев, то он может рассматриваться в качестве кандидата в список референтных объектов для целей оценки радиационно-экологического воздействия в данной географической области при заданном типе экосистемы. В соответствии с Публикациями 91 и 108 МКРЗ и докладом НКДАР ООН [30-32] рекомендуется выбирать референтные объекты для оценки радиационно-экологического воздействия из следующих организмов биоты: наземные беспозвоночные — летающее насекомое (пчела), дождевой червь; наземные позвоночные — пресмыкающиеся (змея/уж), земноводные (лягушка), птицы (утка); млекопитающие (мышь, олень/косуля); наземные растения — трава, дерево (сосна); водные беспозвоночные — моллюски/краб; водные позвоночные — рыба (пелагическая и бентическая), водные млекопитающие; водные растения (макрофиты).

(4) Оценка мощности дозы облучения референтных объектов окружающей среды.

При оценке величины радиационно-экологического воздействия учитываются следующие пути облучения организмов: внешнее облучение от объектов окружающей среды, внутреннее облучение от радионуклидов, накопленных организмами биоты. В рамках выбранных сценариев оцениваются уровни удельных и объемных активностей отдельных радионуклидов в компонентах природной среды, определяются возможные пути и продолжительность радиационного воздействия на референтные организмы биоты, подвергающихся наибольшему радиационному воздействию в районе территории воздействия пункта хранения РАО. Расчеты мощности дозы облучения организмов биоты выполняются в соответствии с моделями, представленными в [32] и адаптированными к местным условиям.

Мощность дозы облучения j -го объекта биоты складывается из мощности дозы внутреннего облучения от каждого радионуклида, инкорпорированного в ткани организма, и мощности дозы внешнего облучения от каждого радионуклида, содержащихся в компонентах природной среды:

$$D_j = \sum_{i=1}^N (DCF_{ij}^{внутр.} \cdot C_{ji} + DCF_{ij}^{внеш.} \cdot C_i \cdot \alpha_j), \quad (32)$$

где $DCF_{ij}^{внутр.}$ — фактор дозовой конверсии для внутреннего облучения j -го объекта биоты от i -го радионуклида, (Гр/ч)/(Бк/кг сырого веса); C_{ji} — удельная активность i -го радионуклида в организме j -го объекта биоты, Бк/кг сырого веса; $DCF_{ij}^{внеш.}$ — фактор дозовой конверсии для внешнего облучения j -го объекта биоты от i -го радионуклида, (Гр/ч)/(Бк/кг); C_i — удельная активность i -го радионуклида в компоненте природной среды, Бк/кг; α_j — доля времени, которую j -й организм проводит в контакте с рассматриваемым компонентом природной среды.

Для наземных организмов основной вклад в мощность дозы внешнего облучения дает почва, для водных организмов — донные отложения и вода. Рекомендуемые значения параметров для различных радионуклидов и референтных объектов водной и наземной биоты приведены в докладе [32].

(5) Сопоставление расчетных оценок мощности дозы с экологически безопасными уровнями облучения для референтных объектов окружающей среды. Методология ограничения радиационного воздействия на биоту основана на постулате порогового действия ионизирующего излучения на организмы, подтвержденного многочисленными экспериментальными данными [5, 31, 33-36, 43].

В качестве критерия сохранения благоприятной окружающей среды и обеспечения радиоэкологической безопасности используется консервативное условие не превышения значений экологически безопасного уровня облучения референтных объектов биоты. В общем случае данное условие формулируется следующим образом:

$$D_j \leq БУОБ_j, \quad (33)$$

где D_j — мощность дозы облучения для j -го референтного объекта биоты, Гр/сут; $БУОБ_j$ — безопасный уровень облучения для j -го референтного объекта биоты, Гр/сут. В качестве консервативного значения экологически безопасного уровня облучения объектов природной среды принимается значение $БУОБ_{ж} = 0,001$ Гр/сут для организмов животного мира, и $БУОБ_{р} = 0,01$ Гр/сут для организмов растительного мира.

При превышении референтных безопасных уровней облучения организмов фауны и флоры выполняются оценки совокупного вреда биоте, рассчитываемые в соответствии с законодательством об охране окружающей среды.

(6) Оценка совокупного вреда от радиационного воздействия производится в соответствии с нормативно-методическими документами в области охраны окружающей среды. Для исчисления совокупного вреда рекомендуется использовать таксы за ущерб, причиненный уничтожением объектов животного и растительного мира, или таксы, утвержденные в соответствии с установленным законодательством Российской Федерации порядке.

В соответствии с методикой [37] общий вред организмам животного мира включает прямые потери от гибели организмов и косвенные потери — неполученный потенциальный доход от использования объектов животного мира, в размере допустимого к изъятию годового прироста их численности за весь период воздействия (применяется только при расчете вреда от уничтожении объектов животного мира, вовлеченных в хозяйственный оборот).

Исчисление экономического ущерба от нанесения вреда объектам животного мира осуществляется путем исчисления величины материальных, трудовых и финансовых затрат, которые понесет общество для восполнения потерь животного мира в каждом конкретном случае, а также упущенной выгоды.

Таким образом, экономический ущерб (D) от вреда объектам животного мира, для которых превышает безопасный уровень облучения, рассчитывается по формуле:

$$D = S \sum_{i=1}^M (N_i + P_i \cdot T) \cdot H_i, \quad (34)$$

где N_i — разница между базовой численностью объектов животного мира эталонной территории и базовой численностью объектов животного мира, сохранившихся на территории воздействия (особи/га); P_i — разница между годовой продуктивностью объектов животного мира эталонной территории и годовой продуктивностью объектов животного мира, сохранившихся на территории воздействия (особи/га); T — длительность воздействия (лет); S — площадь воздействия, на которой оценивается ущерб (га); H_i — такса взыскания за ущерб данному виду или группе видов объектов животного мира (руб.).

Исчисление итогового экономического ущерба от вреда объектам животного мира, для которых превышает безопасный уровень облучения, на территории воздействия за весь период воздействия определяется суммированием размера ущерба от вреда, исчисленного для каждого такого вида (группы видов) объектов животного мира.

В основном территории воздействия пунктов хранения выведены из природопользования, следовательно, косвенные потери при проведении оценки совокупного размера возможного вреда не требуется учитывать.

Оценка совокупного вреда складывается из вреда, причиненного:

1 Объектам животного мира

При уничтожении объектов животного мира вследствие радиационного повреждения исчисление размера совокупного вреда ($B_{ж}$) производится по формуле (35):

$$B_{ж} = \sum_{i=1}^M (N_i \cdot HC_i), \quad (35)$$

где: N_i — количество уничтоженных особей (экземпляров) i -го вида, экз.; HC_i — норматив стоимости объекта животного мира i -го вида, определенный в соответствии с [38-40], руб./экз.; M — общее число видов объектов животного мира.

При уничтожении вследствие радиационного повреждения кладок яиц птицы или рептилии размер вреда исчисляется в пятикратном размере по отношению к размеру вреда от уничтожения одной особи данного вида. При уничтожении вследствие радиационного воздействия кладок икры амфибии размер вреда исчисляется в десятикратном размере по отношению к размеру вреда от уничтожения одной особи данного вида. Исчисление размера вреда от уничтожения объектов животного мира, относящихся к почвенным беспозвоночным животным, производится в составе исчисления размера вреда от уничтожения почвы (подстилки).

2 Среде обитания объектов животного мира

А) При уничтожении либо запечатывании почвы (подстилки) и иных местообитаний объектов животного мира, относящихся к беспозвоночным животным, размер совокупного вреда ($B_{почв.}$) исчисляется исходя из затрат, которые необходимо произвести для замены почвенного слоя растительным грунтом по формуле:

$$B_{почв.} = Z_{кр} \cdot V + (HC_{нб} + HC_{уб}) \cdot S, \quad (36)$$

где: $Z_{кр}$ — затраты на выполнение комплекса работ, связанных с приобретением, транспортировкой и размещением растительного грунта, по замене уничтоженной либо запечатанной почвы (подстилки) и иных местообитаний, руб./м³; V — объем уничтоженной либо запечатанной почвы (подстилки), м³; $HC_{нб}$ — норматив стоимости почвенных беспозвоночных животных, обитающих на 1 м² земельного участка, определенный в соответствии с [38-40], руб./м²; S — площадь земельного участка, на котором уничтожены либо запечатаны почва (подстилка) и иные местообитания беспозвоночных животных, м²; $HC_{уб}$ — норматив стоимости объектов животного мира, относящихся к иным беспозвоночным животным, в соответствии с [38-40], руб./экз.

Б) При разрушении обитаемых либо регулярно используемых гнезд, нор, логовищ, убежищ, жилищ и других сооружений объектов животного мира, относящихся к позвоночным животным, используемых для воспроизводства (размножения), размер совокупного вреда ($B_{зн}$) исчисляется по формуле (37):

$$B_{зн} = Z_в + K_{воспр.} \cdot HC_M, \quad (37)$$

где: $Z_в$ — затраты на восстановление (проведение биотехнических мероприятий или создание искусственного аналога) используемого гнезда, норы, логовища, убежища и (или) другого сооружения, используемого для воспроизводства (размножения), руб.; $K_{воспр.}$ — коэффициент воспроизводства: для земноводных и пресмыкающихся $K_{воспр.}=10$; для птиц и млекопитающих $K_{воспр.}=5$; HC_M — норматив стоимости объекта животного мира, относящегося к позвоночным животным, определенный в соответствии с [38-40], руб./экз.

3 Объектам растительного мира

Размер совокупного вреда определяется в соответствии с «Методикой исчисления размера вреда, причиненного лесам, в том числе лесным насаждениям, или не отнесенным к лесным насаждениям деревьям, кустарникам и лианам вследствие нарушения лесного законодательства», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 08.05.2007 № 273 (ред. от 26.11.2007) [41].

Размер совокупного вреда вследствие радиационного воздействия, причиненного лесам, в том числе лесным насаждениям, или не отнесенным к лесным насаждениям деревьям, кустарникам и лианам, а также другим объектам растительного мира, исчисляется путем суммирования размеров совокупного вреда объектам растительного мира, для которых были превышены безопасные уровни облучения.

При исчислении размера ущерба, причиненного не отнесенным к лесным насаждениям деревьям, кустарникам и лианам, применяются цены и нормативы затрат, которые непосредственно связаны с выращиванием деревьев, кустарников и лиан, а также с уходом за ними до возраста уничтоженных или поврежденных.

Таксы для исчисления размера ущерба, причиненного лесным насаждениям или не отнесенным к лесным насаждениям деревьям, кустарникам и лианам вследствие нарушения лесного законодательства, заготовка древесины которых допускается, содержатся в [41].

Таксы для исчисления размера ущерба, причиненного деревьям и кустарникам, заготовка древесины которых не допускается, содержатся в [41].

Таксы для исчисления размера ущерба, причиненного лесам вследствие нарушения лесного законодательства, за исключением ущерба, причиненного лесным насаждениям или не отнесенным к лесным насаждениям деревьям, кустарникам и лианам, содержатся в [41].

Перечень видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается утвержден приказом Минсельхоза Российской Федерации от 02.08.2010 г. № 271 [42].

Оценка размера совокупного вреда, причиненного объектам растительного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, осуществляется в соответствии с таксами, утвержденными постановлением приказом Минприроды России от 1 августа 2011 г. № 658 [39].

4 Водным биологическим ресурсам

В соответствии с Федеральным законом от 20.12.2004 г. № 166-ФЗ [44] возмещение совокупного вреда, причиненного водным биоресурсам, осуществляется в соответствии с утвержденными в установленном порядке таксами и методиками исчисления размера причиненного водным биоресурсам вреда, а при их отсутствии, исходя из затрат на восстановление водных биоресурсов.

Исчисление размера совокупного вреда, причиненного водным биологическим ресурсам производится по методике [45].

Исчисление размера совокупного вреда от уничтожения, незаконного вылова или добычи водных биологических ресурсов, производится согласно соответствующим таксам, утвержденным постановлениями Правительства Российской Федерации № 515 от 25 мая 1994 г. [46].

7.3 Оценка расходов, связанных с удалением радиоактивных отходов

Оценка затрат для каждого этапа обращения с РАО, согласно разработанному сценарию удаления РАО, проводится в соответствии с «Методикой определения состава затрат, связанных с удалением радиоактивных отходов (включая расходы на их извлечение, переработку, кондиционирование, перевозку к пункту захоронения и захоронение)» [47], которая утверждается Госкорпорацией «Росатом», согласно ПП № 1069 [4]. Для обоснования отнесения РАО к особым РАО необходимо доказать что расходы, связанные с удалением РАО, превышают расходы, связанные с захоронением РАО в месте их нахождения, зачастую, необходимо провести оценку затрат на несколько работ, предусмотренных сценарием удаления РАО. Рекомендуется проводить оценку расходов, связанных с удалением РАО последовательно, начиная с наиболее затратных, просто и достоверно оцениваемых этапов работ.

После выполнения оценки затрат для одного вида работ по удалению РАО проводится сравнение с полученной величиной расходов на захоронение РАО в месте их нахождения и величиной совокупного вреда окружающей среде, рассчитанных согласно п. 7.1 и п. 7.2 настоящей работы. Процедура оценки расходов, связанных с удалением РАО, прекращается как только начинает выполняться неравенство:

$$P_{OPAO} + Y_{ущерб} < P_{УРАО}, \quad (38)$$

где P_{OPAO} — расходы на захоронение РАО в месте их нахождения; $Y_{ущерб}$ — совокупный размер возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения (учитывается, если наносится вред биоте); $P_{УРАО}$ — расходы, связанные с удалением РАО (включая расходы на их извлечение, переработку, кондиционирование, перевозку к пункту захоронения и захоронение).

Проведение оценок затрат для основных работ, связанных с удалением РАО

Оценка затрат на захоронение РАО

Затраты на захоронение РАО ($P_{зах.}$) рассчитываются отдельно для отходов каждого класса РАО исходя из объема РАО после кондиционирования, а также тарифов на захоронение, по формуле:

$$P_{зах.} = \sum_{k=1}^6 V_k \cdot T_k, \quad (39)$$

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, утвержденный Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 89 от 13.03.2013 г. [48]; k — номер класса РАО для захоронения, $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ в соответствии с ПП № 1069 [4].

Примечание: РАО для захоронения должны быть приведены в соответствие с критериями приемлемости. Тариф на захоронение для РАО класса V используется только для ЖРО, удовлетворяющим критериям приемлемости, установленным для полигонов глубинного захоронения.

Оценка затрат на кондиционирование РАО

Затраты на кондиционирование переработанных РАО ($P_{кond.}$) рассчитываются отдельно для отходов каждого класса РАО исходя из объема РАО после переработки, а также затрат на закупку контейнеров, по формуле:

$$P_{кond.} = \sum_{m=1}^6 T_m^{кond.} \cdot V_{РАОm}^n / V_m, \quad (40)$$

где $V_{РАОm}^n$ — объем РАО после переработки, размещаемых в контейнер типа m ; V_m — полезный объем контейнера типа m ; $T_m^{кond.}$ — затраты на покупку одного контейнера типа m ; m — тип контейнера РАО.

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 транспортирование РАО в централизованный пункт захоронения РАО

Затраты на транспортирование РАО к централизованному пункту захоронения ($P_{транс.}$) рассчитываются отдельно для каждого класса РАО исходя из объема РАО, дальности перевозки, вида транспорта по формуле.

$$P_{транс.} = \sum_{k=1}^6 V_k \cdot T_k^{ав.} \cdot L_{ав.} + \sum_{k=1}^6 V_k \cdot T_k^{ж/д} \cdot L_{ж/д}, \quad (41)$$

где $P_{транс.}$ — затраты на транспортирование извлеченных РАО до централизованного пункта захоронения; V_k — объем РАО k -го класса РАО, включая упаковку и контейнер (объем брутто); $T_k^{ав.}$ — затраты на

транспортирование 1 м³ РАО k -го класса автомобильным транспортом на 1 км пути; $T_k^{жс/д}$ — затраты на транспортирование 1 м³ РАО k -го класса железнодорожным транспортом на 1 км пути; $L_{ав.}$ — расстояние, на которое транспортируется РАО автомобильным транспортом, км; $L_{жс/д}$ — расстояние, на которое транспортируется РАО железнодорожным транспортом, км; k — номер класса РАО для захоронения, $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ в соответствии с ПП № 1069 [4].

Оценка затрат на работы по сортировке, переработке и паспортизации РАО

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

$$P_{с.п.н.} = V_{РАО} \cdot T^{сорт.} + \sum_{j=1}^N V_j \cdot T_j^{переп.} + \sum_{m=1}^6 T_m^{насп.} \cdot V_{РАОm}^n / V_m, \quad (42),$$

где $V_{РАО}$ — объем РАО, а также объем радиоактивно загрязненных грунтов и материалов в пункте хранения, загрязненных до уровней отнесения к РАО, согласно ПП № 1069 [4]; $T^{сорт.}$ — затраты на сортировку 1 м³ РАО, руб./м³; V_j — объем РАО, перерабатываемой j -м способом, м³; $T_j^{переп.}$ — затраты на переработку j -м способом 1 м³ РАО, руб./м³; $V_{РАОm}^n$ — объем РАО после переработки, размещаемых в контейнер типа m ; V_m — полезный объем контейнера типа m ; $T_m^{насп.}$ — затраты на паспортизацию одной упаковки РАО типа m ; m — тип упаковки РАО.

Данная формула может быть изменена, например, в состав затрат могут быть включены затраты на переупаковку РАО и исключены затраты на переработку РАО и др.

Кроме того, для ОНРАО и отходов, образующихся при добыче и переработке урановых руд, в случае, если они отправляются на захоронение без кондиционирования затраты на паспортизацию проводятся для партии РАО (ст. 27 190-ФЗ [2]).

Оценка затрат на работы по извлечению РАО из пункта хранения

В затраты работ по извлечению РАО включается стоимость работ по безопасному извлечению РАО, загрязненных грунтов и материалов, размещению их на площадку временного хранения или на средства транспортирования, включая стоимость транспортирования до места переработки. Затраты определяются на основе площади пункта хранения, выборе технологий по вскрытию поверхностного экрана и т. д.

Оценка затрат на работы подготовительного этапа

В затраты работ подготовительного этапа работ по удалению РАО, включается стоимость:

1. проведения КИРО¹;
2. проведения НИОКР по разработке технологий удаления РАО;
3. разработки проекта работ, включая проектно-изыскательские работы и работы по подготовке отчета по обоснованию безопасности²;
4. прохождения экспертиз и получение лицензии на проведение работ;
5. работ по строительству/реконструкции объектов инфраструктуры, необходимых для удаления РАО, включая подготовку территории для проведения работ, сооружение подъездных дорог; подводу необходимых для выполнения работ коммуникаций; строительство комплексов переработки, кондиционирования, паспортизации РАО и их временного хранения; сооружение дополнительной физической, пожарной, радиационной защиты; сооружение пункта специальной обработки рабочей техники (деактивации); сооружение санпропускников, систем радиационного контроля и т. д.

В состав затрат подготовительного этапа включается стоимость сметного расчета стоимости работ по данному пункту размещения.

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

¹ Затраты проведения КИРО и проведения НИОКР по разработке технологий удаления РАО не включаются в стоимость работ по удалению РАО в случае, если в организации имеются необходимые исходные данные для ведения работ по проектированию объектов инфраструктуры.

² Затраты, перечисленные в пунктах г), д), не включаются в стоимость работ по удалению РАО, если в организации имеются все необходимые элементы инфраструктуры для удаления РАО и удаление РАО допустимо действующими лицензиями (разрешениями), выданными органами государственного регулирования безопасности в области использования атомной энергии.

8 Пример применения подхода при обосновании отнесения пункта хранения РАО к пункту размещения/консервации особых РАО

Пункт хранения ТРО

- Часть емкостей постоянно подтапливается;
- Основные радионуклиды: Cs-137, Sr-90, Pu-239;
- Удельная активность Pu-239 в среднем по каждой емкости значительно ниже допустимого значения в 370 Бк/г (НП-069-06): не превышает 25 Бк/г;
- Большая часть РАО по уровню удельной активности относится к ОНРАО;
- В пункте хранения размещены загрязненный грунт, изделия из полимеров, в том числе пластиката, изделия из стекла и керамики, изделия из черных металлов, спецодежда и др.

Соответствие критериям отнесения РАО к особым РАО, не требующим расчетного обоснования

Происхождение накопленных РАО

«РАО, образовавшиеся в результате выполнения государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа»

Расположение объекта

Пункт хранения расположен на территории промышленной площадки, то есть «пункт хранения РАО и его СЗЗ размещены вне границ населенных пунктов, особо охраняемых природных территорий, прибрежных защитных полос и водоохранных зон водных объектов, других охранных и защитных зон, установленных в соответствии с законодательством РФ»

Сценарий перевода в пункт захоронения РАО и оценка коллективной эффективной дозы

Этап 0: 2015 – 2018 гг.	Разработка проекта удаления части РАО (САО), перемещение РАО из нескольких подтапливаемых емкостей в ПЗ на территории (ОНРАО)	Дозовые нагрузки отсутствуют	0
Этап 1: 2019 – 2023 гг.	<ul style="list-style-type: none"> • Подготовительный этап; • Удаление САО; • Извлечение РАО из подтапливаемых емкостей; • Размещение в ПЗ на территории организации. 	<ul style="list-style-type: none"> • Устройство и ремонт дорог • Очистка площадок от кустарников и деревьев • Создание площадки захоронения ОНРАО • Закупка оборудования • Извлечение и кондиционирование САО • Извлечение и кондиционирование ОНРАО из подтапливаемых емкостей • Обращение с контейнерами 	2,4 чел.-Зв
Этап 2: 2018 – 2020 гг.	Работы по консервации пункта хранения РАО	Работы по созданию покрывающего экрана и благоустройству территории	0,9 чел.-Зв
Этап 3: 2020 – 2190 гг.	Эксплуатация пункта консервации РАО (радиационный контроль, поддержание пункта консервации в безопасном состоянии)	Работы по реконструкции покрывающего экрана, вырубке деревьев и др. работы. Консервативно предполагаем, что радиационная обстановка может улучшиться и дозы облучения будут составлять 1/10 от формировавшихся в ходе работ по консервации, а в последующем снижаться по причине распада основного дозобразующего радионуклида	0,18 чел.-Зв
Этап 4: 2190 – 2193 гг.	Перевод пункта консервации в пункт захоронения РАО	Дополнительное обследование пункта хранения РАО. Доза – 1 мЗв/год. Персонал – 5 человек. Продолжительность работ – 1 год.	0,005 чел.-Зв
Этап 5: 2193 до окончания ППО	Радиационный контроль	Поскольку все легко мигрирующие РН распались, дозовая нагрузка отсутствует	0
Коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности РАО, связанная с захоронением РАО в месте их нахождения:			3,5 чел.-Зв

Сценарий удаления РАО и оценка коллективной эффективной дозы

Этап 0: 2015 – 2018 гг.	<i>Разработка проекта удаления РАО</i>	<i>Дозовые нагрузки отсутствуют</i>	–
Этап 1: 2018 – 2023 гг.	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Подготовительный этап</i> • <i>Строительство комплекса по переработке РАО (сортировка, пресование, сжигание)</i> • <i>Закупка контейнеров и оборудования</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Устройство и ремонт дорог</i> • <i>Очистка площадок от кустарников и деревьев</i> • <i>Создание площадки временно-го хранения РАО на территории организации</i> • <i>Закупка оборудования</i> • <i>Строительство комплекса по переработке РАО</i> 	0,6 чел. -Зв
Этап 2: 2023 – 2038 гг.	<i>Извлечение и переработка РАО Транспортирование САО в централизованный ПЗ РАО Захоронение САО в централизованном ПЗ РАО</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Извлечение и кондиционирование САО, обращение с упаковками</i> • <i>Извлечение, переработка и кондиционирование НАО и ОНРАО</i> • <i>Обращение с контейнерами, после переработки НАО и ОНРАО</i> 	0,004 чел.-Зв 12,5 чел. -Зв 2,6 чел. -Зв
Этап 3: 2023 – 2025 гг.	<i>Строительство ПЗ РАО для короткоживущих НАО и ОНРАО на территории организации</i>	<i>Дозовые нагрузки отсутствуют</i>	–
Этап 4: 2025 – 2040 гг.	<i>Эксплуатация ПЗ РАО на территории организации</i>	<i>Обращение с контейнерами при эксплуатации ПЗ учтены в этапе 2</i>	–
Этап 5: 2040 – 2042 гг.	<i>Закрытие ПЗ РАО</i>	<i>Дозовые нагрузки отсутствуют</i>	–
Этап 6: 2042 г. до окончания ППО	<i>Радиационный контроль</i>	<i>Дозовые нагрузки отсутствуют</i>	–
Коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности РАО, связанная с захоронением РАО в местах нахождения:			15,7 чел.-Зв.

Оценка обобщенного риска потенциального облучения

Консервация ПХ РАО:

Среди всех основных технологических операций к наиболее потенциально опасным относятся погрузочно-разгрузочные работы и транспортирование:

- Передача РАО на захоронение в централизованный пункт захоронения
- Расстояние до пункта захоронения - 100 км.

Итого — $1,04 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$

Удаление РАО:

Среди всех основных технологических операций к наиболее потенциально опасным относятся погрузочно-разгрузочные работы и транспортирование:

- Передача САО на захоронение в централизованный пункт захоронения
- Расстояние до пункта захоронения — 100 км.
- Транспортировка НАО и ОНРАО по площадке, до ПЗ РАО
- Длина транспортирование по площадке — 2 км

Итого — $7,22 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$

Оценка затрат

Захоронение РАО в месте их нахождения

1.	Реализация подготовительного этапа, млн. руб.	=0,1·(гр. 2+гр. 3)	404
2.	Реализация проекта проведения работ по консервации, млн. руб.	согласно проекту консервации	40
3.	Затраты на извлечение, переработку и захоронение САО, млн. руб. Затраты на извлечение НАО и ОНРАО и перемещение в ПЗ РАО на территории организации		4000
4.	Работы по мониторингу, млн. руб.		1200
5.	Работы по реконструкции барьеров безопасности, млн. руб.	=6·гр.2	240
6.	Работы по переводу пункта консервации в пункт захоронения, млн. руб.	=0,4·гр.2	16
7.	Общие затраты на перевод пункта хранения РАО в пункт захоронения РАО, млрд. руб.	=гр.1+гр.2+гр.3+гр.4+гр.5+гр.6	5,9

Удаление РАО

Затраты на извлечение РАО оцениваются с учетом опыта НИЦ «Курчатовский институт» (НАО — 220 тыс. руб./м³, САО — 550 тыс. руб./м³) — 40 млрд. руб.

Затраты на покупку контейнеров для САО, а также РАО после сжигания, с учетом стоимости контейнера типа НЗК (70 тыс. руб./шт.), и для НАО и ОНРАО (0,5 тыс. руб./шт.) — 0,3 млрд. руб.

Затраты на захоронение САО в централизованном пункте захоронения, с учетом тарифа — 0,2 млрд. руб.

Затраты на размещение НАО и ОНРАО в пункт захоронения на территории организации (условно считаем, соответствуют тарифу для класса 6) — 0,03 млрд. руб.

Таким образом, затраты на удаления РАО превысят 40 млрд. руб.

Сопоставление полученных оценок

Сценарий	Удаление РАО	Сравнение	Захоронение РАО в месте их нахождения	
Коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности РАО, чел.-Зв	более 15,7	>	менее 3,5	
Риск потенциального облучения, год ⁻¹	$1,04 \cdot 10^{-3}$	>	$7,22 \cdot 10^{-4}$	
Затраты, млрд. руб.	более 40	>	Расходы на захоронение РАО в месте их нахождения	менее 5,9
			Совокупный размер возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения	0,0004

Пункт хранения — пункт хранения особых РАО

Заключение

В настоящей работе суммированы принципы, общие и специфические подходы к обоснованию отнесения РАО к особым РАО. Изложенные результаты работы позволяют в соответствии с постановлением ПП № 1069 провести оценки коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения и затрат для вариантов удаления РАО и захоронения РАО в месте их нахождения. Кроме того, работа содержит описание методики оценки совокупного размера возможного вреда окружающей среде, которая разработана в соответствии с законодательством Российской Федерации об охране окружающей среды. Положения, изложенные в настоящей работе, являются основой, позволяющей предприятиям формировать обоснования об отнесении РАО к особым РАО, используя имеющуюся информацию о пункте хранения и размещенных в нем РАО.

Литература

1. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Развитие системы обращения с радиоактивными отходами в России. — Под общей редакцией Большова Л.А., Крюкова О.В., Лаверова Н.П., Линге И.И. — Москва: 2013. — 392 с. — Т.2.
2. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 июля 2012 г. № 767 «О проведении первичной регистрации радиоактивных отходов».
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».

5. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Annals ICRP 37(2-4), Elsevier, Amsterdam, 2007. — 264 p.
6. СанПиН 2.6.1.2523-10. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).
7. IAEA Safety Standards Series No. GSR. Part 3. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Vienna, 2011. — 303 p.
8. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010), СП 2.6.1.2612-10, Роспотребнадзор, 2010.
9. Санитарные правила обращения с радиоактивными отходами (СПОРО-02), СП 2.6.6.1168-02, Минздрав России, 2002 (в ред. от 23.12.2010 N 167).
10. Абрамов А.А., Ведерникова М.В., Савкин М.Н. Разработка методического обеспечения при проведении первичной регистрации РАО в части отнесения накопленных РАО к особым РАО. В тематическом сборнике «Ядерная и радиационная безопасность России», № 14. М., 2013, с.11-21.
11. НП 055-04. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности
12. НП-058-04. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения.
13. Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark Main report of the SR-Site project. Svensk Kärnbränslehantering AB, March 2011.
14. Гупало Т.А., Сущенко Д.К., Карпиков А.А. и др. Оценка необходимой вместимости объектов окончательной изоляции всех видов РАО по федеральным округам РФ. В тематическом сборнике «Ядерная и радиационная безопасность России». № 14. М., 2013, с.74-89.
15. А.В. Чесноков, С.Г. Семенов. Методические предложения. Оценка затрат при ликвидации пунктов размещения особых РАО низкого и среднего уровня активности. НИЦ «Курчатовский институт». Ки. Москва, 2013.
16. Степеннов Д.Б., Максимов С.Б. Информационно-аналитическая система для сопровождения реабилитации пункта временного хранения отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов в пос. Гремиха. — Атомная энергия, том 109, вып. 2, август 2010, с. 95-100.
17. А.К. Сухоручкин, Б.С. Степеннов, В.А. Селищев и др. Решение проблем обеспечения радиационной безопасности при нормализации радиационной обстановки в хранилище ОЯТ БСХ-3А в губе Андлеева Мурманской области. Препринт ИАЭ- 6749/3, Москва, 2013.
18. МР 2.6.1.0063-12. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии», Роспотребнадзор, 2012.
19. Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities, Vol. 1, 2, IAEA, VIENNA, 2004
20. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01, утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.11.2001.
21. Application of Exemption Principles to the Recycle and Reuse of Materials from Nuclear Facilities, Safety Series No 111 P-1.1, IAEA, Vienna, 1992.
22. РД 10-04-2006 «Методические указания о порядке осуществления надзора за обеспечением радиационной безопасности при выводе из эксплуатации, транспортировании и передаче на долговременное хранение радиоизотопных термоэлектрических генераторов».
23. СанПиН 2.6.1.1281-03. Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ). 2003.
24. Нормативы времени на погрузочно-разгрузочные работы, выполняемые на железнодорожном, водном и автомобильном транспорте. Часть I. Погрузочно-разгрузочные работы, выполняемые на станциях железных дорог, предприятиях, в организациях, учреждениях отраслей народного хозяйства. Утверждены Государственным комитетом СССР по труду и социальным вопросам (нормативы по состоянию на июль 2011 года).

25. Рыбальченко И. Л. Обращение с отходами очень низкого уровня активности. Шведский опыт. — СПб., 2009. — 36 с., ил.
26. <http://radon.ru>
27. <http://www.atomic-energy.ru/articles/2011/12/15/29534>
28. Алексахин А.И. «Водоём-9 — хранилище жидких радиоактивных отходов и воздействие его на геологическую среду. — Под ред. Дрожко Е.Г., Самсонова Б.Г. — М., 2007, 250 с.
29. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
30. ICRP — International Commission on Radiological Protection. Publication 91. A framework for assessing the impact of ionizing radiation on non-human species. Annals of the ICRP, 2003. — 79 p.
31. ICRP — International Commission on Radiological Protection. Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2009. — 251 p.
32. UN — United Nations. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume II, Scientific Annex E. Effect of ionizing radiation on non-human biota. United Nations, New York, 2011. — 164 p.
33. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. Второе издание, переработанное и дополненное. М: Издат, 2010. — 495 с.
34. 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.
35. UN — United Nations. Effects of radiation on the environment. UNSCEAR Report. New York. 1996. — 86 p.
36. US DOE. United States Department of Energy. A graded approach for evaluating radiation doses to aquatic and terrestrial biota. DOE-STD-1153-2002. Washington DC: U.S.DOE. 2002. — 234 p.
37. Госкомэкологии России. Методика оценки вреда и исчисления размера ущерба от уничтожения объектов животного мира и нарушения среды их обитания. Утверждена Госкомэкологией России 28 декабря 2000 г. М., 2000. — 12 с.
38. МПР РФ. Приказ МПР РФ от 28 апреля 2008 г. N 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.
39. 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. N 658. М., 2011. — 3 с.
40. 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.
41. Постановление Правительства РФ от 8 мая 2007 г. N 273. Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения Лесного законодательства (в ред. Постановления Правительства РФ от 26.11.2007 N 806). М., 2007.- 13 с.
42. Приказ Минсельхоза Российской Федерации от 02.08.2010 г. №271 «Об утверждении Перечня видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается».
43. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Радиационная безопасность окружающей среды: необходимость гармонизации российских и международных нормативно-методических документов с учетом требований федерального законодательства и новых международных основных норм безопасности ОНБ-2011. Радиация и риск, 2013. Том 22, № 1. — С. 47-61.
44. Федеральный закон от 20.12.2004 г. № 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов».
45. Росрыболовство. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам. Приложение к приказу Росрыболовства от 25.11.2011 г. № 1166. М., 2011. — 69 с.

46. 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 N.724; от 10.03.2009 N.219). — 3 с.
47. Проект ведомственного приказа «Об утверждении Методики определения состава затрат, связанных с удалением радиоактивных отходов» <http://regulation.gov.ru/project/8960.html>
48. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 13 марта 2013 г. № 89 «О первоначальном установлении тарифов на захоронение радиоактивных отходов».