

**Научно-техническое пособие  
по подготовке обосновывающих материалов  
для принятия решения  
об отнесении радиоактивных отходов  
к особым радиоактивным отходам**

Версия 3

УДК 621.039.7  
ББК 31.43+35.36  
Н 34

**Научно-техническое пособие по подготовке обосновывающих материалов для принятия решения об отнесении радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам. Версия 3 /** М. В. Ведерникова, С. В. Панченко и др. ; под общей редакцией И. И. Линге. — М.: ИБРАЭ РАН, 2022 г. — 200 с. — ISBN 978-5-907375-03-1

Книга подготовлена авторским коллективом:

Аракелян А. А. (разд. 2.2, 3.6, 3.7), Болдырев К. А., (разд. 2.6, 2.7), Бурякова А. А. (разд. 3.9), Ведерникова М. В. (все гл.), Демин А. В. (разд. 2.8, пр. 1-3), Иванов А. Ю. (разд. 1.3, 1.4), Ильясов Д. Ф. (разд. 1.4, 3.8, 3.10), Капырин И. В. (разд. 2.4, 2.5, пр. 5), Коновалов В. Ю. (разд. 2.1), Крышев И. И. (разд. 3.9), Косых И. В. (разд. 3.9), Линге И. И. (гл. 1), Линге Ин. И. (разд. 1.3), Муленкова Е. В. (разд. 2.1-2.4), Павлова Н. Н. (разд. 3.9), Панченко С. В. (все гл.), Самойлов А. А. (разд. 1.2, 2.8, пр. 1-5), Савельева Е. А. (разд. 2.2), Свительман В. С. (разд. 2.2), Стрижова С. В. (разд. 1.2).

*В период 2013–2014 гг. в обеспечение проведения первичной регистрации радиоактивных отходов (РАО) и установления мест их размещения вышел ряд работ, в том числе версии 1 и 2 пособия [1, 2], которые активно использовались организациями для подготовки обосновывающих материалов для отнесения РАО к особым РАО.*

*Ряд обстоятельств, в том числе возможная корректировка нормативной базы в части критериев отнесения РАО к особым, опыт работ по созданию цифровых моделей, обоснования размещения дополнительных РАО в пункты размещения особых РАО, позволили прийти к выводу о том, что возможно отнесение дополнительного и значимого количества пунктов хранения накопленных РАО к пунктам размещения или консервации особых РАО.*

*Версия 3 пособия представляет собой новый материал, подготовленный в рамках работы по государственному контракту № Д.4и.244.20.21.1001 от 16.10.2020 «Разработка системы требований и критериев по долгосрочной безопасности объектов ядерного наследия в Российской Федерации. Этап 2021–2022 гг.». Пособие планировалось выпустить после утверждения новых критериев отнесения РАО к особым или удаляемым РАО. По состоянию на сентябрь 2022 года проект корректировки Постановления Правительства Российской Федерации №1069 от 19.10. 2012 прошел все согласования, в том числе с Министром России. После утверждения новых Критериев планируется выпустить новую расширенную версию Пособия.*

*Его отличительные особенности: существенное обновление материалов по оценке и сопоставлению коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения, затрат и совокупного размера возможного вреда окружающей среде и включение новых разделов, связанных с обоснованием возможности размещения дополнительных отходов в пункты размещения особых РАО, формированием гидрогеологических моделей объекта, юридическим обособлением объекта, применением цифровых моделей, оценкой стоимости содержания объектов.*

*В разработке основных положений подходов в 2013–2014 гг. приняли участие ведущие специалисты Госкорпорации «Росатом»; ФГУП «ПО «Маяк»; ФГБУ «НПО «Тайфун» Росгидромета; органов регулирования безопасности при использовании атомной энергии и их научных организаций, в том числе: Минприроды России, ФБУ «НТЦ ЯРБ» Ростехнадзора, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России, ФБУН НИИРГ им. П. В. Рамаева. Настоящая версия подготовлена специалистами ИБРАЭ РАН с участием ФГБУ «НПО «Тайфун» Росгидромета.*

*Пособие предназначено для обеспечения организаций отрасли справочными материалами для формирования обосновывающих документов по отнесению РАО к особым или удаляемым РАО, в том числе при пересмотре ранее принятых решений, а также для формирования перечня исходных данных для выполнения оценок долговременной безопасности пунктов размещения и консервации особых РАО.*

Авторы выражают благодарность: Печкуровой К. А. и Гаврилиной Е. А. за помощь в работе.

Официальные контакты ИБРАЭ РАН:

Россия, 115191, г. Москва, Большая Тульская ул., д. 52, e-mail: [pbl@ibrae.ac.ru](mailto:pbl@ibrae.ac.ru).

## Оглавление

Список использованных сокращений.....	5
Предисловие.....	8
1. Перспективы обращения с накопленными РАО .....	10
1.1. Особенности правового регулирования особых РАО .....	16
1.2. Юридическое обособление объекта .....	23
1.3. Интеграция данных по объектам, создание цифровых моделей объектов и геологических баз данных как способ повышения эффективности работ .....	25
1.4. Стоимость содержания, мониторинга, периодического радиационного контроля пунктов хранения накопленных РАО.....	31
2. Научно-технические основы обоснования долговременной безопасности пунктов хранения особых РАО.....	33
2.1. Общий подход к обоснованию долговременной безопасности пунктов хранения особых РАО .....	33
2.2. Критерии безопасности, расчетные величины и критическая группа населения.....	38
2.3. Процессы, явления и факторы, важные для оценки долговременной безопасности.....	43
2.3.1. Сценарии как инструмент анализа важных для оценки долговременной безопасности факторов .....	43
2.3.2. Формирование сценариев .....	44
2.3.3. Примеры практической реализации перехода от перечня ОСП к набору сценариев.....	48
2.4. Характеристики ПХРО важные для обоснования долговременной безопасности.....	50
2.5. Гидрогеологические модели объекта .....	52
2.6. О роли нерадиационных характеристик РАО при захоронении радиоактивных отходов в месте их нахождения .....	56
2.7. Обоснование безопасности размещения дополнительных РАО в пункты размещения особых РАО .....	63
2.8. Разработка программы перевода ПРОРАО в ПЗРО.....	66
3. Практические рекомендации по формированию пакета документов по обоснованию отнесения РАО к особым и удаляемым РАО.....	72
3.1. Основание для разработки обоснования .....	74
3.2. Краткая характеристика ПХРО.....	77
3.3. Соответствие РАО критериям отнесения к особым РАО по происхождению и местоположению .....	82
3.4. Оценка принципиальной возможности локализации РАО в месте их размещения .....	83
3.5. Формирование двух вариантов обращения с РАО.....	88
3.5.1. Вариант обращения с РАО при их захоронении в месте нахождения .....	91
3.5.2. Вариант обращения с РАО при их удалении .....	95

3.6. Оценка коллективных эффективных доз облучения .....	97
3.6.1. Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения .....	98
3.6.2. Оценка коллективной эффективной дозы облучения, связанной с удалением РАО .....	106
3.7. Оценка рисков потенциального облучения .....	109
3.8. Оценка затрат, связанных с захоронением РАО в месте их нахождения .....	120
3.9. Оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения .....	127
3.10. Оценка затрат, связанных с удалением РАО .....	146
3.11. Обоснование отнесения ПХРО к пункту размещения/консервации особых РАО или к пункту временного/долговременного хранения удаляемых РАО .....	159
3.12. Заключение обоснования .....	160
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	163
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	175
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	180
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	185
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 .....	188
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 .....	189
ПРИЛОЖЕНИЕ 6 .....	192

## Список использованных сокращений

АО	—	Акционерное общество
АО «10 СРЗ»	—	Акционерное общество «10 Судоремонтный завод»
АО «АЭХК»	—	Акционерное общество «Ангарский электролизный химический комбинат»
АО «ВНИИХТ»	—	Акционерное общество «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии»
АО «ГНЦ НИИАР»	—	Акционерное общество «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов»
АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»	—	Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»
АО «ДВЗ «Звезда»	—	Акционерное общество «Дальневосточный завод «Звезда»
АО «Миграция»	—	название условной организации оказывающей услуги
АО «МСЗ»	—	Акционерное общество «Машиностроительный завод»
АО «ОДЦ УГР»	—	Акционерное общество «Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых реакторов»
АО «ПО ЭХЗ»	—	Акционерное общество «Производственное объединение «Электрохимический завод»
АО «СВРЦ»	—	Акционерное общество «Северо-восточный ремонтный центр»
АО «СХК»	—	Акционерное общество «Сибирский химический комбинат»
АО «УЭХК»	—	Акционерное общество «Уральский электрохимический комбинат»
АО «ЦС «Звездочка»	—	Акционерное общество «Центр судоремонта «Звездочка»
АО «ЧМЗ»	—	Акционерное общество «Чепецкий механический завод»
АЭС	—	атомная электростанция
БД	—	база данных
ВАО	—	высокоактивные отходы
ВЭ	—	вывод из эксплуатации
ГК РФ	—	Гражданский кодекс Российской Федерации
ДО	—	донные отложения
ДРМ	—	дополнительно размещаемые материалы
ЕГРН	—	Единый государственный реестр недвижимости
ЕГС	—	единая государственная система
ЕОП	—	единый отраслевой порядок
ЕСКИД	—	Единая система контроля и учёта индивидуальных доз облучения граждан
ЖРО	—	жидкие радиоактивные отходы
ИББ	—	инженерный барьер безопасности
ИБРАЭ РАН	—	Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук
ИМ	—	информационное моделирование

ИПЗ	— интегральный показатель загрязнения
ИТ	— информационные технологии
ИФХЭ РАН	— Институт физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина РАН
КИРО	— комплексное инженерное и радиационное обследование
ЛА	— летательный аппарат
МАГАТЭ	— Международное агентство по атомной энергии
МАЭД	— мощность амбиентного эквивалента дозы
МКРЗ	— Международная комиссия по радиологической защите
МСФО	— Международный стандарт финансовой отчетности
МЯВ	— мирный ядерный взрыв
НАО	— низкоактивные отходы
НДС	— налог на добавленную стоимость
НЗК	— невозвратный защитный контейнер
НИР	— научно-исследовательская работа
НИЦ «Курчатовский Институт»	— Национальный исследовательский центр «Курчатовский Институт»
НЛС	— наземное лазерное сканирование
НП	— нормы и правила
НПК ФГУП «Радон»	— Научно-производственный комплекс Федерального государственного унитарного предприятия «Радон»
НРБ	— нормы радиационной безопасности
ОАО	— открытое акционерное общество
ОАО «ГНЦ НИИАР»	— Открытое акционерное общество «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов»
ОАО «Магнит»	— название условной эксплуатирующей организации
ОАО «РЖД»	— Открытое акционерное общество «Российские железные дороги»
ОВОС	— оценка воздействия на окружающую среду
ОДБ	— обоснование долговременной безопасности
ОЗРИ	— отработавший закрытый радионуклидный источник
ОИАЭ	— объект использования атомной энергии
ОМСН	— объектный мониторинг состояния недр
ОНРАО	— очень низкоактивные радиоактивные отходы
ООБ	— отчет по обоснованию безопасности
ОРАО	— особые радиоактивные отходы
ОРПО	— обобщенный риск потенциального облучения
ОС	— окружающая среда
ОСП	— особенности, события и процессы
ОСПОРБ	— основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности
ПАО «НЗХК»	— Публичное акционерное общество «Новосибирский завод химконцентратов»
ПАО «ППГХО»	— Публичное акционерное общество «Приаргунское производственное горно-химическое объединение»

ПБС	— поддержание в безопасном состоянии
ПГЗ ЖРО	— полигон глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов
ПЗРО	— пункт захоронения радиоактивных отходов
ПЗУА	— предельное значение удельной активности
ПИЛ	— подземная исследовательская лаборатория
ПК	— пункт консервации
ПКОРАО	— пункт консервации особых радиоактивных отходов
ПО	— программное обеспечение
ПП	— Постановление Правительства Российской Федерации
ППЗРО	— приповерхностный пункт захоронения радиоактивных отходов
ППР	— плотность потока радона
ПРОРАО	— пунктов размещения особых радиоактивных отходов
ПУГР	— промышленный уран-графитовый реактор
ПХ	— пункт хранения
ПХРО	— пункт хранения радиоактивных отходов
РАО	— радиоактивные отходы
РФ	— Российская Федерация
САО	— среднеактивные отходы
СБЦП	— справочник базовых цен на проектные работы в строительстве
СГУК РВ и РАО	— Система государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов
СЗЗ	— санитарно-защитная зона
СИЗ	— средство индивидуальной защиты
СРЗ «Нерпа»	— судоремонтный завод «Нерпа»
СУБД	— система управления базой данных
СУД	— система управления данными
СФЗ	— система физической защиты
СЦР	— самоподдерживающаяся цепная реакция
ТЗ	— техническое задание
ТКВ	— Теченский каскад водоемов
ТРО	— твердые радиоактивные отходы

## Предисловие

В период 2013–2014 годов последовательно вышло несколько публикаций [1, 3—6], которые эволюционно сформировали методическую и информационную базу специального «Научно-технического пособия по подготовке обосновывающих материалов для принятия решения об отнесении радиоактивных отходов к особым РАО» [2]. Основное внимание в Пособии было уделено способам и информационным материалам для оценки критериев отнесения отходов к радиоактивным (Критериев), определенных соответствующим Постановлением Правительства Российской Федерации [7] (ПП №1069). Среди этих Критериев:

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

Версия 2 этого пособия стала основным документом, которым руководствовались эксплуатирующие организации при подготовке обоснований по принятию решений об отнесении РАО к особым в ходе первичной регистрации РАО. В 2014 г. эксплуатирующими организациями было выполнено более 70 обоснований отнесения РАО к особым РАО. Вместе с тем, по разным причинам в отношении более чем 80 объектов, решения по отнесению РАО к особым или удаляемым РАО были отложены. В 2015 году вышла монография [8], в которой подводились итоги первичной регистрации РАО и фиксировались основные проблемные моменты.

За прошедший с момента выхода Пособия (2014 г. [2]) период в ходе реализации мероприятий федеральных целевых программ «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (ФЦП ЯРБ) и «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 – 2020 годы и на период до 2035 года» (ФЦП ЯРБ-2) был выполнен значительный объем научно-технических разработок и практических работ по обращению с особыми РАО (по консервации пунктов размещения особых РАО) и удаляемыми РАО, анализ и обобщение которых позволяет развить предложенные методологии выполнения критериальных показателей. Кроме этого, накоплен опыт выполнения обоснования принципиальной возможности локализации РАО в месте их нахождения (скрининг оценка долговременной безопасности в случае перевода ПХРО в ПЗРО), без которого органы регулирования безопасности при использовании атомной энергии не готовы были принимать решения об отнесении РАО к особым.

Таким образом, к настоящему времени сформировался ряд обстоятельств, которые позволяют утверждать о необходимости дополнительного цикла работ, в основе которых будут лежать вопросы обоснования отнесения РАО, находящихся в пунктах долговременного или временного хранения, к особым РАО. Настоящая версия пособия ориентирована на информационную поддержку этих работ.

Отличительные особенности новой версии Пособия:

- более детальное и широкое рассмотрение сопутствующих обстоятельств, в том числе связанных с корректировкой нормативной базы в части критериев отнесения РАО к особым, опыта работ по созданию цифровых моделей объектов для задач вывода из эксплуатации (ВЭ), развитие методов геомиграционного моделирования, методов и способов обоснования размещения дополнительных накопленных РАО;



— существенное обновление материалов по оценке и сопоставлению коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения, затрат и совокупного размера возможного вреда окружающей среде и включение новых разделов, связанных с обоснованием возможности размещения отходов в пункты размещения особых РАО, формированием гидрогеологических моделей объекта, юридическим обособлением объекта, оценкой стоимости содержания.

Важно, что в Пособии предложены материалы, направленные на устранение одного из важных недостатков первичной регистрации РАО, а именно практического отсутствия требования обоснования отнесения отходов к удаляемым РАО. В ходе первичной регистрации РАО для отнесения отходов к удаляемым РАО комиссии не требовали выполнять оценки критериальных показателей. В большинстве случаев решения принимались на основании факта отсутствия документов по обоснованию отнесения к особым РАО. С учетом требования п. 55 НП-058-14 [9], а также уже имеющих место быть прецедентов выполнения обоснований отнесения РАО к удаляемым РАО, новая редакция Пособия дополнена возможностью разработки обоснования отнесения РАО к удаляемым отходам.

Требуется еще раз подчеркнуть, что третья версия Пособия носит временный характер. Запланированное к выпуску более полутора лет тому назад оно опередило корректировку критериев отнесения РАО к особым и удаляемым РАО (на момент передачи текста Пособия в печать документ, содержащий предложения по корректировке Критериев, находился на согласовании в Федеральных органах исполнительной власти), которые в случае утверждения могут инициировать как работы по обоснованию отнесения РАО к особым, для объектов, по которым в рамках первичной регистрации РАО решения были отложены (в том числе по причинам несоответствия требованиям абзаца 1 пункта 1 или подпункта в) пункта 1 Критериев), так и пересмотр ранее принятых решений по отнесению накопленных РАО к удаляемым РАО.

## 1. Перспективы обращения с накопленными РАО

В силу прежде всего сверх высоких темпов решения оборонных задач сегодня в Российской Федерации накоплены колоссальные объемы РАО (более 553 млн м<sup>3</sup> [8]). Из большого перечня представленных в таблице 1.1 организаций обращают на себя внимание несколько — ПАО «ППГХО», ФГУП «ПО «Маяк», АО «СХК», ФГУП «ГХК», бывшее предприятие «Алмаз», а также полигоны глубинного захоронения ЖРО (ПГЗ ЖРО), сегодня эксплуатируемые ФГУП «НО РАО», в пунктах хранения которых накоплено более 99% объема отходов.

По критериям опасности накопленных РАО список приоритетных объектов, работы по которым были включены в ФЦП ЯРБ, был немного иным. Он включал объекты как приведенных выше предприятий — ФГУП «ПО «Маяк», АО «СХК», ФГУП «ГХК», ФГУП «НО РАО» (ПГЗ ЖРО), так и АО «ОДЦ УГР», НИЦ «Курчатовский Институт», АО «ГНЦ НИИАР», АО «ГНЦ-РФ ФЭИ» и ряд иных научных организаций, АЭС АО «Концерн Росэнергоатом», предприятия ФГУП «Атомфлот», ФГУП «РосРАО» (на тот момент объединяло бывшие спецкомбинаты «Радон») [10, 11]. Совокупность опасности и условий размещения РАО (в ряде случаев в непосредственной близости от жилой застройки) стала главным критерием для реализации мероприятий ФЦП ЯРБ. Другим важным условием являлось отсутствие должной системы захоронения РАО. Следствием этого целью большинства мероприятий стало повышение безопасности существующих ПХРО. Только в крайне редких случаях были запланированы работы по удалению накопленных РАО из объектов.

Таблица 1.1 — Данные о количествах РАО, накопленных на предприятиях Российской Федерации (по результатам первичной регистрации РАО)

Предприятия	Кол-во ПХРО	Объем РАО, тыс. м <sup>3</sup>
<i>Добыча урана, монацита, радия и др.</i>		
Бывшее предприятие «Алмаз»	1	10600
ПАО «ППГХО»	3	53200
Режевская администрация, п. Озерный	1	42
пгт. Водный муниципального объединения городской округ Ухта Республики Коми	1	170
<i>Предприятия ядерного топливного цикла</i>		
ФГУП «ПО «МАЯК»	54	406000
АО «СХК»	14	4300
АО «ОДЦ УГР»	19	68
ФГУП ФЯО «ГХК»	29	382
ФГУП Комбинат «Электрохимприбор»	1	9
ПАО «НЗХК»	2	956
АО «ЧМЗ»	2	4180
АО «АЭХК»	6	87
АО «ПО ЭХЗ»	3	19
АО «УЭХК»	5	73
ПАО «МСЗ»	3	410
<i>Научные учреждения для решения задач использования ядерных технологий</i>		
НИЦ «Курчатовский институт»	15	3
АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»	10	26

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»	3	3
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»	13	14
АО «ГНЦ НИИАР»	6	42
ФГУП РНЦ «Прикладная химия»	1	1
<i>Производство электроэнергии</i>		
Атомные электростанции	79	248
<i>Атомный флот</i>		
АО «ЦС «Звездочка»	10	3
СРЗ «Нерпа»	12	1
АО «СВРЦ»	14	1
АО «10 СРЗ»	19	2
ФГУП «Атомфлот»	4	1
АО «ДВЗ «Звезда»	3	1
<i>Обращение с РАО в народном хозяйстве</i>		
ФГУП «РАДОН»	43	130
ФГУП «РосРАО» (на 2013–2014 год)	224	427
АО «Соликамский магниевый завод»	1	120
АО «Амурметалл»	1	2
ОАО «Ключевский завод ферросплавов»	1	8
Другие предприятия	120	8
<i>ПГЗ ЖРО</i>		
ФГУП «НО РАО»	3	60000
Всего	726	540000

Приведенные в таблице 1.1 данные надо воспринимать как ориентиры, поскольку наиболее крупные объемы РАО представлены в виде жидких РАО (ЖРО), в том числе находящихся в открытых бассейнах-хранилищах и промышленных водоемах, в условиях, когда объем хранимых отходов зависит от водности объектов (условий окружающей среды). Тем не менее, они дают ясное представление о масштабе накопленных к началу XXI века проблем.

В сложившихся условиях введение категории «особых» РАО (работы по захоронению могут быть проведены на месте, а обоснование долговременной безопасности ПХРО выполнено в полном объеме в соответствии с современными требованиями российского законодательства и международными подходами) рассматривалось как единственный безопасный способ решения проблемы накопленных РАО [12]. Оценки, в том числе объемных характеристик таких отходов, давали ясный ответ на возможность их захоронения в рамках традиционных подходов, предусматривавших извлечение РАО, их кондиционирование и удаление на захоронение в современные ПЗРО. Этот ответ мог быть сформулирован следующим образом:

*удаление всех накопленных РАО не соответствует международно-признанным подходам, в том числе принципам радиационной защиты, не учитывает особенности многих из созданных ранее объектов хранения и захоронения РАО, и разорительно для государства с учетом их отнесения к федеральной собственности.*

Справедливости ради, необходимо отметить, что в отношении подавляющего объема накопленных РАО вопрос об их извлечении, переработке и удалении на захоронение в ПЗРО (на тот момент еще не сооруженные) никогда серьезным образом не ставился. Речь идет о больших объемах твердых отходов (ТРО), размещенных в хвостохранилищах, например, ПАО «ЛПГХО», и ЖРО, размещенных в поверхностных водоемах-хранилищах, например, в Теченском каскаде водоемов (ТКВ), В-9 и В-17 ФГУП «ПО «Маяк» и др. В отношении этих объектов речь могла идти лишь о юридическом закреплении их статуса.

В силу перечисленных причин вступление в силу положений Федерального закона № 190-ФЗ от 11.07.2011 «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (№ 190-ФЗ) [13] не рассматривалось как препятствующее реализации ФЦП ЯРБ. Он должен был создать юридические основы для деятельности в последующие периоды. Остановимся на выполненных за последние годы работах в сфере обращения с РАО, чтобы, опираясь на накопленный опыт, проанализировать категорию особых РАО.

В рамках ФЦП ЯРБ был выполнен крупный блок работ, затронувший каким-либо образом более чем 75% объема накопленных РАО. В числе прочих была существенно повышена безопасность ТКВ, и разработан детальный план его долговременного безопасного содержания, закрыта акватория промышленного водоема В-9, где сосредоточена большая активность накопленных РАО [14], выполнены работы по консервации бассейнов-хранилищ ЖРО на АО «СХК» и ФГУП «ГХК», проведена реконструкция ПЗЗ ЖРО.

В период до 2015 года объем работ в части удаления накопленных РАО из старых хранилищ с последующим захоронением был многократно более скромным. Первый в Российской Федерации приповерхностный ПЗРО (ППЗРО) (1-я очередь) для РАО 3-го и 4-го классов был построен в рамках ФЦП ЯРБ на территории АО «УЭХК» в г. Новоуральске Свердловской области (сегодня эксплуатируется ФГУП «НО РАО»). Прием РАО для захоронения начался уже в 2016 г.

В период 2016–2020 гг. в рамках ФЦП ЯРБ-2 уже выполнены три крупных блока работ: по развитию системы захоронения и хранения РАО, консервации особых РАО и удалению РАО для последующего захоронения.

В рамках первого блока выполнены первоочередные практические и научно-исследовательские работы по созданию подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ) в Нижнеканском массиве. Утвержденной стратегией создания пункта глубинного захоронения РАО (ПЗРО) предполагается, что ПИЛ должна проработать как минимум до 2030 года, и лишь потом может быть принято решение о сооружении ПЗРО [15]. В 2020 году была введена в эксплуатацию 2-я очередь ПЗРО на площадке АО «УЭХК». Общий объем ПЗРО РАО составил 55 тыс. м<sup>3</sup>, его эксплуатация рассчитана до 2036 г. Начались подготовительные работы по созданию еще двух ПЗРО. Вблизи г. Озерск (Челябинская область) получено разрешение на строительство объекта суммарным объемом 180 тыс. м<sup>3</sup>. Ввод в эксплуатацию его первой очереди запланирован на 2023 г., полностью завершить строительство планируется в 2030 г., а общий срок эксплуатации в режиме размещения РАО составит порядка 15 лет. Вблизи г. Северск (Томская область) завершение строительства ПЗРО также запланировано на 2030 г., мощность объекта составит 142,7 тыс. м<sup>3</sup>.

Кроме этого, на площадке ФГУП «РАДОН» в районе г. Сергиев Посад было завершено строительство первой очереди современного хранилища ТРО (здание 103), в отношении которого обсуждался вопрос о его возможной трансформации в приповерхностный ПЗРО (ППЗРО). Были также продолжены работы по реконструкции старых ПХРО на площадках предприятий в Мурманской, Архангельской, Томской областях и Забайкальском крае.

В части консервации объектов размещения особых РАО работы проводились на 5 объектах АО «СХК» (г. Северск, Томская область) и одном объекте ФГУП «ПО «Маяк» (г. Озерск, Челябинская область). Это длительные многоэтапные работы.

В 2020 г. были полностью завершены работы по консервации поверхностных хранилищ ЖРО – бассейнов Б-1 и Б-25 на площадке АО «СХК», созданных в 1961–1962 гг. для хранения отходов радиохимического и химико-металлургического заводов комбината. Уже в 1980-е годы размещение РАО в бассейны было прекращено, однако отсутствие надежной изоляции создавало риски радиоактивного загрязнения окружающей среды. Благодаря использованию накопленного опыта консервации аналогичного объекта Б-2 (работы были завершены в 2012 г. в рамках ФЦП ЯРБ) и применению более эффективных технологий, сроки выполнения работ удалось сократить до 3–5 лет вместо запланирован-

ных изначально 10–15 лет. В настоящее время обеспечивается регулярный мониторинг состояния законсервированных объектов, позволяющий следить за протекающими процессами в водной среде и грунтах за периметром самих объектов, а также за сооруженными инженерными барьерами безопасности [16].

В рассматриваемый период времени продолжались подготовительные работы по консервации построенных в 1960–1970-х гг. приповерхностных хранилищ ТРО (ХТРО) на площадке № 16 и пульпохранилищ бассейнового типа ПХ-1, ПХ-2 радиохимического завода АО «СХК». На ХТРО выполнено устройство скважин и сооружение верхнего защитного экрана. Работы по созданию барьеров безопасности ХТРО будут продолжены. В рамках предпроектных исследований были разработаны цифровые информационные и расчетные модели ПХ-1, ПХ-2 и проведены расчетные оценки их долговременной безопасности, в случае перевода в ПЗРО, которые показали, что сооружение дополнительных инженерных барьеров безопасности при консервации объектов не только ограничит их радиационное воздействие на население и окружающую среду, но и позволит решить отдельные накопленные проблемы на площадке за счет размещения дополнительных объемов РАО в пульпохранилищах перед их консервацией (работы по обоснованию решений выполнялись ИФХЭ РАН, ИБРАЭ РАН). В качестве таких дополнительных РАО рассматривались, в первую очередь, пульпы сублиматного завода, хранящиеся в настоящий момент в подлежащих ВЭ зданиях, и автотехника, радиоактивно загрязненная в ходе выполнения работ по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Подготовленная программа работ по созданию пункта консервации особых РАО ПХ-1, ПХ-2 будет реализовываться в период до 2030 гг.

На ФГУП «ПО «Маяк» начаты работы по консервации водоема В-17 «Старое болото», который был создан в 1952–1954 гг. для приема и хранения ЖРО радиохимического производства [17]. Последние 30 лет объект эксплуатируется преимущественно в режиме останова и самоочистки и вмещает более 270 тыс. м<sup>3</sup> накопленных ЖРО. К настоящему времени подготовлена проектная документация по консервации В-17, выполнено разведочное бурение скважин и другие работы. Завершение работ по засыпке акватории грунтом, созданию барьеров безопасности, реабилитации прилегающей территории и вводу в эксплуатацию систем мониторинга за состоянием подземных вод запланировано на 2026 г.

Близкие по смыслу работы были выполнены на площадке ПАО «ППГХО», где идет реконструкция хвостохранилища «Среднее» вместимостью более 10,5 млн м<sup>3</sup> с целью увеличения его емкости для безопасного хранения образующихся при переработке урановых руд «хвостов» гидрометаллургического завода. К 2016 г. уровень плотины хвостохранилища был поднят от отметки 665 м до 670 м, объем дополнительного складирования хвостов составил 7,5 млн м<sup>3</sup>. В 2017–2018 гг. был уложен противофильтрационный экран из геомембраны и уровень плотины был поднят до отметки 675 м, что обеспечило 10,3 млн м<sup>3</sup> дополнительного полезного объема. К 2024 г. будет достигнута отметка верха плотины в 680 м и дополнительный объем составит 30 млн м<sup>3</sup>, что обеспечит потребности предприятия еще на 20 лет.

В рамках первого этапа программы ФЦП ЯРБ-2 [14] были извлечены, переработаны, кондиционированы, приведены к критериям приемлемости для захоронения и переданы на захоронение 23,5 тыс. м<sup>3</sup> РАО. Основные мероприятия проводились в филиалах АО «Концерн «Росэнергоатом» и ФГУП «ФЭО» (ранее – ФГУП «РосРАО»), а также на ФГУП «РАДОН» и ФГУП «Атомфлот». В период до 2035 г. запланировано удаление, кондиционирование и передача на захоронение более 125 тыс. м<sup>3</sup> накопленных РАО.

Выполненные в рамках реализации мероприятий ФЦП ЯРБ-2 за период 2016–2020 гг. работы дали объемный материал по стоимости и составу операций по обращению с РАО. В опросе, организованном Госкорпорацией «Росатом» летом 2020 года, участвовало 6 крупных организаций, выполнивших 36 контрактов: АО «10 СРЗ», АО «АЭХК», ФГУП «ГХК», АО «Концерн Росэнергоатом», ФГУП «РАДОН», ФГУП «ФЭО». На основании полученных данных были оценены стоимости отдельных операций по обращению с

удаляемыми РАО, стоимости контейнеров и т. д. (см. раздел 3.10). В соответствии с контрактами работ, выполненными в рамках ФЦП ЯРБ-2, для ОНРАО и НАО (4 класс) они составляют 150–450 тыс. руб./м<sup>3</sup>, для НАО и САО (3 класс) – 500–1200 тыс. руб./м<sup>3</sup>, с учетом НДС (в ценах 2021 года).

Принципиально важной была работа по первичной регистрации РАО, проведенной в течение 2013–2014 гг. Она была проведена в отношении 809 объектов размещения накопленных РАО (рисунок 1.1), часть пунктов хранения в рамках первичной регистрации были объединены, ряд объектов были сняты с регулирующего контроля, по результатам оценки уровней удельной активности отходов. В основе процедуры лежали положения Постановления Правительства Российской Федерации от 19.11.2012 №1069 [7].



Рисунок 1.1 – Предварительные результаты проведения первичной регистрации РАО [8]

В ходе первичной регистрации РАО объекты размещения удаляемых отходов были отнесены к пунктам долговременного хранения (объектам, для которых требуется разработать порядок и меры по выводу из эксплуатации), пунктам временного хранения (все документы по ВЭ разработаны), а также к местам временного размещения. Объекты хранения особых РАО, относились комиссиями к пунктам размещения особых РАО, или к пунктам консервации особых РАО, в зависимости от наличия барьеров безопасности, изолирующих РАО от окружающей среды, и установленного срока их эксплуатации. Три объекта были отнесены к пунктам захоронения РАО (все три ПГЗ ЖРО).

По ряду объектов решения по отнесению РАО к особым и удаляемым были отложены. Это было обусловлено либо отсутствием разработанных обоснований отнесения РАО к особым (например, для объектов АО «ГНЦ НИИАР»), либо тем обстоятельством, что РАО не удовлетворяют ограничениям на местоположение ПХРО и на происхождение РАО, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации №1069 [7], в то время как на основании представленных материалов и проведенных обследований комиссии решили, что захоронение РАО в месте их нахождения является более предпочтительным как с финансовой точки зрения, так и соответствующим принципам радиационной защиты [8].

На основании принятых комиссиями решений были сформированы перечни пунктов долговременного хранения РАО, пунктов размещения особых РАО, пунктов консервации особых РАО, а также пунктов захоронения РАО, которые в соответствии со ст. 23 №190-ФЗ были утверждены Правительством Российской Федерации [18].

В ходе первичной регистрации РАО были подготовлены обоснования по отнесению РАО к особым, РАО размещенных в ПХРО следующих организаций: АО «ПО ЭХЗ», АО «ЧМЗ», ПАО «ППГХО», АО «УЭХК», ФГУП «ГХК», ПАО «НЗХК», ФГУП «ПО

«Маяк», АО «ОДЦ УТР», АО «СХК». Все обоснования выполнены в полном объеме с использованием Пособия [2]. В отношении каждого пункта хранения РАО проведены оценки периода потенциальной опасности РАО, коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения и затрат для двух вариантов обращения с РАО, а также совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения. Для каждого объекта доказана принципиальная возможность локализации РАО в месте их нахождения, и показано полное соответствие РАО критериям отнесения к особым, утвержденным ПП №1069 [7].

Сегодня к особым РАО отнесено более 99,9% всех накопленных ЖРО и более 82% по объему накопленных ТРО без учета захороненных в ПГЗ ЖРО и образованных в результате использования ядерных зарядов в мирных целях (МЯВ) (таблица 1.2). По решению Госкорпорации «Росатом» пункты хранения АО «ПО ЭХЗ» и АО «УЭХК» отнесены к пунктам долговременного хранения до изменения категории земель размещения объектов. В последующий период были выполнены обоснования отнесения почти 300 тыс. м<sup>3</sup> РАО к особым для ряда пунктов хранения бывшего «Кирово-Чепецкого химического комбината им. Б. П. Константинова» (сегодня – Приволжский филиал ФГУП «РАДОН»).

Таблица 1.2 – Объемы накопленных РАО (по всем пунктам хранения накопленных РАО), по результатам первичной регистрации РАО\*

Агрегатное состояние	Накоплено всего, млн м <sup>3</sup>	Захоронено, млн м <sup>3</sup>	Особые, млн м <sup>3</sup>	Решение отложено, млн м <sup>3</sup>	Удаляемые РАО, млн м <sup>3</sup>
ТРО	71,8	-	59,4	11,5	0,5
ЖРО	470,3	60,2	409,8	0,1	0,2
РАО МЯВ	11,4	-	11,4	-	0,0002
Всего:	553,5	60,2	480,6	11,6	0,7

\* Указанные в таблице значения содержат погрешность, связанную с особенностями представления объемов РАО в актах первичной регистрации.

Необходимо отдельно отметить, что первичная регистрация РАО проводилась не в обязательном, а в заявительном порядке, что привело к тому, что ряд организаций не сочли нужным предоставить сведения о размещенных на их территориях накопленных РАО, либо указали, что объекты учета Системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов (СГУК РВ и РАО) отсутствуют. В случае обнаружения объектов размещения накопленных РАО, изменения типа пункта хранения (например, пункт размещения особых РАО переведен в пункт консервации особых РАО), развития технологий обращения с РАО, а также в случае изменений самих критериев отнесения РАО к особым, статьей 26 №190-ФЗ предусмотрена процедура пересмотра перечней пунктов долговременного хранения РАО, пунктов размещения и консервации особых РАО, а также ПЗРО не реже, чем один раз в десять лет.

Современные оценки объемов удаляемых РАО и представления о стоимости работ по обращению с ними, включая их захоронение (см. раздел 3.10), позволяют оценить затраты, которые превысят 350 млрд руб. Реализованная процедура отнесения к особым РАО была масштабной, но не полной, как по составу объектов, так и по её завершенности. Правительство России не утвердило соответствующие перечни в полном объеме, поскольку в большинстве случаев в составе представленных документов не содержались материа-

лы, характеризующие объект хранения особых РАО как обособленный объект недвижимости. Это обстоятельство представлялось важным, поскольку сроки их существования с особым режимом функционирования многократно превышали возможные сроки существования эксплуатирующих организаций как юридических лиц. По этой и ряду иных причин детальное рассмотрение вопросов отнесения РАО к особым и удаляемым РАО остается более чем актуальным.

## 1.1 Особенности правового регулирования особых РАО

Прежде чем рассматривать нормы Федерального закона по РАО [13] обратим внимание на законодательное определение РАО, приведенное в статье 3 №170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» [19]. Оно сформулировано следующим образом: «радиоактивные отходы – не подлежащие дальнейшему использованию материалы и вещества, а также оборудование, изделия (в том числе отработавшие источники ионизирующего излучения), содержание радионуклидов в которых превышает уровни, установленные в соответствии с критериями, установленными ПП №1069 [7]. В отношении накопленных РАО важно рассмотрение двух критериев.

Во-первых, это материалы, не подлежащие дальнейшему использованию. С учетом длительных сроков хранения накопленных РАО возможен радикальный пересмотр возможностей их использования в ближайшем или отдаленном будущем. В особой мере это относится к местам хранения отходов от добычи и переработки урановых руд и иного минерального сырья. Развитие технологий переработки подобных материалов и извлечения ценных компонент за последние десятилетия делает вполне вероятным получение надежных и авторитетных оценок возможности использования отнесенных в прошлом к РАО материалов. Еще раз отметим, что речь может идти даже о возможности их переработки не в ближайшее время, но в отдаленной перспективе. Таким образом, в отношении отнесенных в прошлом к РАО материалов возможен радикальный пересмотр их правового статуса, а, следовательно, и исключение требований по их захоронению.

Во-вторых, при больших сроках хранения РАО необходимо контролировать роль радиоактивного распада. Понятно, что для большинства ситуаций срок в 50–70 лет, прошедших после появления РАО, не очень велик. Но оценить ситуацию по этому критерию имеет смысл, в том числе для целей более адекватного применения критериев классификации РАО. В отношении и особых РАО и всех накопленных РАО в целом этот критерий приобретает особое значение, поскольку ограничения на время нахождения РАО в хранилищах до их захоронения установлены только для вновь образующихся РАО.

Соответствующие особенности, обусловленные этими обстоятельствами, будут рассмотрены ниже при анализе особенностей применения норм законодательства по РАО. Этот анализ приурочен к статьям закона по РАО, в которых отдельно упоминаются особые РАО.

Статья 4, классификация РАО. Классификация является ключевым моментом для всего создаваемого режима правового регулирования обращения с РАО. Главная идея комментируемой статьи – это обеспечение связи между отнесением РАО к установленным категориям и видам с требованиями к последующему обращению с ними, включая захоронение.

Частью 1 статьи 4 вводится разделение РАО на особые и удаляемые. В основу разделения заложено сопоставление рисков и затрат для двух вариантов обращения – извлечения РАО из мест их нахождения или захоронения таких РАО в местах нахождения. Разделение РАО на особые и удаляемые отражает существующую в настоящее время ситуацию, характеризующуюся большим количеством ПХРО различного типа и с различными условиями хранения.

Законодательные определения удаляемых и особых РАО имеют зеркальный характер:



удаляемые РАО – РАО, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких РАО из ПХРО, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, не превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких РАО в месте их нахождения;

особые РАО – РАО, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, иные риски, а также затраты, связанные с извлечением таких РАО из ПХРО, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, превышают риски и затраты, связанные с захоронением таких РАО в месте их нахождения.

Законом установлено, что критерии отнесения РАО к особым РАО и к удаляемым РАО устанавливаются Правительством Российской Федерации.

Заметим, что если приведенные законодательные нормы не вызывают сильных возражений, то принятые в 2012 году Критерии отнесения РАО к особым вызвали обоснованные замечания [8, 20, 21], которые будут рассмотрены ниже и которые до середины 2022 года не нашли должного разрешения.

Этой же статьёй закона дается общий алгоритм для установления классификации удаляемых РАО. В отношении их реализации в соответствующем постановлении Правительства Российской Федерации [7] также вызывали замечания. Соответствующие предложения по их корректировке были разработаны и рассматриваются вместе с изменениями критериев отнесения к особым РАО. Возможное изменение критериев классификации РАО для захоронения также играет роль в рассматриваемой теме, хотя и меньшую. Следствием гармонизации классификации для захоронения могут стать изменение оценок стоимости удаления РАО на захоронение, которые участвуют в критериях отнесения РАО к особым.

Статья 9 – установление видов собственности на РАО и пункты их хранения

Статьёй определено, что РАО, образовавшиеся до дня вступления в силу настоящего Федерального закона (№190-ФЗ), находятся в федеральной собственности. ПЗРО могут находиться в федеральной собственности или в собственности Госкорпорации «Росатом». Пункты долговременного хранения РАО, пункты временного хранения РАО, пункты размещения особых РАО и пункты консервации особых РАО могут находиться в федеральной собственности или в собственности российских юридических лиц.

Закон также определил, что может входить в состав имущества ПХРО. Это имущество, необходимое для обеспечения его безопасного функционирования, в том числе земельные участки, здания, сооружения, оборудование, права пользования участками недр, водными объектами и иными природными объектами.

Важно, что в законе для собственников РАО и пунктов их хранения определена обязанность обеспечивать безопасное обращение с отходами, безопасную эксплуатацию, вывод из эксплуатации, закрытие ПХРО.

В комментариях [12] отмечено, что РАО имеют особенности как объекты гражданских правоотношений (гражданских прав и обязанностей). К объектам гражданских прав, согласно статье 128 Гражданского кодекса Российской Федерации (ГК РФ [22]), относятся определённые блага, в число которых Кодекс включает служащие для удовлетворения потребностей людей и общества материальные блага (вещи и иное имущество), а также нематериальные блага (жизнь и здоровье, честь, достоинство, репутация и т. д.). Очевидно, что РАО, в отличие от других объектов гражданских прав, в том числе перечисленных в указанной статье ГК РФ, трудно рассматривать как благо, скорее они являются определённым обременением и представляют собой особый объект гражданских правоотношений, где гражданские права не только одновременно являются и гражданскими обязанностями (и ответственностью!), но практически поглощаются последними.

Подобный подход вытекает из важнейшего положения Объединённой конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с РАО, согласно которому конечная ответственность за обеспечение безопасности обращения с РАО лежит на государстве. Принимая во внимание, что №190-ФЗ призван, в

том числе решить проблему обращения с большим количеством накопленных РАО, государство признало себя собственником этих отходов. Рассмотренная норма является одной из определяющих для всего законодательства в области обращения с РАО, но, по нашему мнению, не в полной мере была реализована в части отнесения РАО к особым.

Из установления федеральной собственности на накопленные РАО следует, что государство принимает на себя обязательства в области обращения с РАО, в том числе и расходные. Это означает, что государство несёт бремя последующего содержания накопленных РАО, включая финансирование расходов, связанных с обращением с ними (часть 5 комментируемой статьи №190-ФЗ). При этом под расходами по обращению с накопленными РАО следует понимать расходы на реализацию всех мероприятий, предусмотренных статьями 23 и 24 Федерального закона и принимаемыми в соответствии с ним иными нормативными правовыми актами.

Финансовые механизмы реализации этой нормы регулируются бюджетным законодательством Российской Федерации, в соответствии с которым финансирование расходов на обращение с накопленными РАО, относящихся к расходным обязательствам Российской Федерации, обеспечивается за счёт бюджетных ассигнований на реализацию долгосрочных федеральных целевых программ и других предусмотренных законодательством бюджетных источников. К последним относятся определяемые в каждом конкретном случае законодательными и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации источники, в том числе бюджетные субсидии и другие средства федерального бюджета на реализацию мероприятий по обращению с РАО.

При этом не следует забывать, что государство, являясь публично-правовым образованием, как собственник РАО выступает в имущественном обороте не как участник публично-правовых отношений, а как участник частноправовых отношений (статья 214 ГК РФ), т. е. на юридически равных основаниях с другими их участниками (с другими собственниками).

Финансирование обращения с накопленными РАО со стороны государства в основном осуществляется в рамках целевых программ, сроки выполнения которых достаточно продолжительны (ФЦП ЯРБ, ФЦП ЯРБ-2). Причина этого очевидна, поскольку деятельность по решению проблем ядерного наследия носит долгосрочный и комплексный характер.

Следует принимать во внимание, что накопленные РАО, находящиеся в федеральной собственности, могут быть размещены в ПХРО, находящихся в собственности юридических лиц, а согласно статье 35 №170-ФЗ [19] эксплуатирующая организация несёт всю полноту ответственности за безопасность ПХРО, что означает, что она несёт ответственность и за безопасность РАО, размещённых в этих объектах. Эта же норма закреплена и в части 5 статьи 9.

В этой ситуации для организации – собственника пункта хранения, в котором содержатся накопленные РАО, с учётом потребностей в свободных объёмах для размещения вновь образующихся РАО и затрат на обеспечение безопасности ПХРО, может оказаться экономически целесообразным за счёт собственных средств осуществить весь комплекс работ по извлечению, кондиционированию и передаче на захоронение накопленных РАО или их части, добившись финансирования оставшихся работ из иных бюджетов.

Статья 23 – первичная регистрация РАО и установление мест их размещения.

Содержание частей 1-7 статьи определяло её цели, адресность, предусматривавшую её проведение в отношении каждого ПХРО, форму результата первичной регистрации (акт), её порядок и сроки, состав сведений, объёмы и категории (только для удаляемых), условия размещения (пункт временного хранения удаляемых РАО, пункт долговременного хранения РАО, пункт размещения особых РАО или пункт консервации особых РАО).

В обеспечение первичной регистрации РАО были приняты следующие нормативные акты:

– постановления Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 № 1069 «О критериях отнесения твёрдых, жидких и газообразных отходов к РАО, критериях отнесения РАО к особым РАО и к удаляемым РАО и критериях классификации удаляемых РАО» [7] и от 25.07.2012 «О проведении первичной регистрации РАО» [23], последним определены общий порядок, сроки проведения и форма акта первичной регистрации РАО.

– приказы Госкорпорации «Росатом» 24.01.2013 № 1/41-П «Об утверждении Порядка проведения первичной регистрации радиоактивных отходов и установления мест их размещения» [24] и от 28.02.2013 «О графике обследований пунктов хранения радиоактивных отходов, образовавшихся до 15.07.2011, для проведения первичной регистрации радиоактивных отходов» [25].

Перечисленные нормативные и распорядительные документы позволили в сжатые сроки провести работы по проведению первичной регистрации РАО большей части накопленных отходов, но с ограничениями и неполнотой, отмеченными выше.

Части 1–7 статьи 23, позволяют трактовать первичную регистрацию РАО как разовое мероприятие, проводимое в установленные Правительством Российской Федерации сроки. Однако положения статьи не запрещают, в случае выявления новых объектов, содержащих накопленные РАО, но не прошедших первичную регистрацию, реализацию в отношении них процедур первичной регистрации. Еще более веской причиной повторной реализации процедур отнесения РАО к особым или удаляемым РАО в отношении отдельных объектов хранения РАО может явиться изменение Критериев отнесения отходов к РАО и РАО к особым РАО. Также эта процедура прямо предусмотрена частью 8 статьи 23 для пунктов долговременного хранения РАО. Их отнесение к особым РАО или удаляемым РАО может быть отложено до истечения определенного проектом срока эксплуатации пункта долговременного хранения РАО.

Предусмотренное статьей отнесение ПХРО к имеющим федеральное или межрегиональное значение либо не имеющим федерального или межрегионального значения не имело принципиального значения для процедуры отнесения к особым РАО.

Частями 10 и 11 статьи предусматривалось, что на основании актов первичной регистрации РАО и установления мест их размещения по предложению Госкорпорации «Росатом» Правительство Российской Федерации относит ПХРО к ПЗРО, пунктам долговременного хранения РАО, пунктам размещения особых РАО, пунктам консервации особых РАО, а затем осуществляется регистрация накопленных РАО и пунктов их хранения.

Таким образом, подкрепленное соответствующими подзаконными актами содержание данной статьи закона дало ясные требования к процедурам первичной регистрации РАО, которые были в целом выполнены в 2013–2014 гг., во многом благодаря Пособию [2]. Исключение составили две проблемные ситуации, связанные с критериями отнесением РАО к особым и с имущественным обособлением пункта размещения особых РАО.

Первая проблемная ситуация была вскрыта сразу после опубликования соответствующих Критериев. Её детальный анализ был осуществлен в рамках заседания секции № 1 «Экологическая и радиационная безопасность пунктов долговременного хранения, консервации и захоронения РАО» НТС № 10 Госкорпорации «Росатом» 11 апреля 2014 г. по вопросу «Практического применения предприятиями Постановления Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 года № 1069». По итогам рассмотрения вопроса Проектному офису «Формирование единой государственной системы обращения с РАО» Госкорпорации «Росатом» было рекомендовано организовать работу по подготовке предложений по внесению изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 года № 1069 и в проект федеральных норм и правил «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения». Эта работа была начата и ведется до настоящего времени.

Вторая проблемная ситуация выявилась позже, практически после завершения первичной регистрации РАО, когда выяснилось, что предприятия Госкорпорации «Росатом» не получили ясных указаний относительно имущественного обособления ПХРО, Прави-

тельством Российской Федерации не было дано поручение об организации такой работы в отношении конкретных ПХРО.

Статьей 24 установлены требования к обращению с накопленными РАО и пунктами их хранения.

Эти требования обусловлены видом РАО – удаляемые или особые, а также типом ПХРО, в котором они размещены. Разделение РАО на удаляемые и особые, а пунктов хранения – на ПЗРО, пункты временного хранения, пункты долговременного хранения, пункты размещения и пункты консервации особых РАО должно было быть осуществлено по результатам первичной регистрации РАО.

Для удаляемых РАО предусмотрены обязательные мероприятия по извлечению РАО из мест их текущего размещения в целях переработки, кондиционирования и последующей передачи национальному оператору для захоронения, руководствуясь нормами статей 12, 25, 27, 29 и 30 №190-ФЗ. Отметим, что деятельность по удалению накопленных РАО уже организована и должна вестись с учетом того, что процесс определения всей совокупности особых еще не завершен, в том числе по причине возможных корректировок Критериев и наличием большого количества отложенных решений.

В отношении особых РАО целью проводимых мероприятий является обеспечение их долгосрочной безопасности в месте размещения, что достигается созданием дополнительных или укреплением существующих инженерных барьеров безопасности (ИББ) ПХРО. Обоснование проведения таких мероприятий должно осуществляться на основе результатов оценки безопасности соответствующего ПХРО и приведения их в соответствие требованиям специальных федеральных норм и правил в области использования атомной энергии (ФНП). Если предусмотренные проектные решения обеспечивают радиационную безопасность работников, населения и окружающей среды в течение всего периода потенциальной опасности размещённых в таком пункте хранения РАО, то такой пункт может быть переведён в ПЗРО. Если барьеры безопасности рассчитаны на меньший срок, то – в пункты консервации особых РАО. При этом до истечения проектного периода обеспечения безопасности эксплуатирующая организация обязана принять меры по обеспечению дальнейшей безопасной эксплуатации такого пункта. Такая практика в отношении накопленных РАО и обеспечения их безопасности характерна для ряда зарубежных стран.

В отношении пунктов долговременного хранения предусмотрена возможность отложенного принятия решения о категории размещённых в них РАО. До истечения определённого проектом срока эксплуатации пункта долговременного хранения должно быть принято решение о возможности и целесообразности извлечения содержащихся в нем РАО. Возможность извлечения РАО, то есть признание их удаляемыми, означает принятие решения о выводе из эксплуатации ПХРО в соответствии с ФНП, регулирующими вопросы вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ). Другим вариантом является отнесение РАО к категории особых РАО, а пункта хранения – к пунктам размещения или пунктам консервации особых РАО. В дальнейшем к данным РАО и пунктам их хранения должны будут применяться соответствующие требования закона.

Статья 26. Регламентирует обращение с особыми РАО и требования к пунктам их хранения.

Часть 1 статьи указывает, что к особым РАО относятся в том числе РАО, образовавшиеся в ядерном оборонном комплексе страны в результате выполнения государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа, а также РАО, образовавшиеся в результате использования ядерных взрывных технологий в мирных целях (81 взрыв на территории России), что, наконец, решило вопрос установления статуса таких объектов и последующего безопасного обращения с находящимися в них РАО.

Часть 2 статьи указывает, что сооружение промышленных объектов и создание промышленных технологий, если это заведомо приводит к образованию особых РАО, запрещаются. Очевидно, что это не запрещает образования особых РАО при ВЭ некоторых объектов.

Части 3 и 4 подразумевают введение категорий пунктов размещения особых РАО и пунктов консервации особых РАО, и выработку дифференцированных требований к обеспечению безопасности таких объектов для населения и окружающей среды соответствующими ФНП, а также установление дополнительных требований к обеспечению безопасности отдельных пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО нормативными актами органов государственного регулирования безопасности. Соответствующие нормы развиты в НП-103-17 «Требования к обеспечению безопасности пунктов размещения особых радиоактивных отходов и пунктов консервации особых радиоактивных отходов» [26] и руководстве по безопасности при использовании атомной энергии НП-146-18 «Рекомендации по переводу пунктов размещения особых радиоактивных отходов в пункты консервации особых радиоактивных отходов и пункты захоронения радиоактивных отходов» [27].

Часть 5 указывает, что перечни пунктов размещения особых РАО и пунктов консервации особых РАО пересматриваются не реже, чем один раз в десять лет с учетом Критериев отнесения РАО к особым РАО и развития технологий обращения с РАО. Это положение еще раз подчеркивает актуальность развития совокупности материалов по отнесению РАО к особым по причинам: приближения 10-летней годовщины отнесения к особым и возможного изменения Критериев отнесения к особым РАО.

В заключение отметим, что при обращении с накопленными РАО должны выполняться требования ФНП, в том числе:

- НП-019-15. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности [28];
- НП-020-15. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности [29];
- НП-055-14. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности [30];
- НП-058-14. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения [9];
- НП-064-17. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии [31];
- НП-069-14. Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов. Требования безопасности [32];
- НП-093-14. Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения [33];
- НП-097-16. Требования к обеспечению безопасности при выводе из эксплуатации пунктов хранения радиоактивных отходов [34];
- НП-099-17. Требования к составу и содержанию отчета по обоснованию безопасности пунктов хранения радиоактивных отходов [35];
- НП-100-17. Требования к составу и содержанию отчета по обоснованию безопасности пунктов хранения радиоактивных отходов [36];
- НП-103-17. Требования к обеспечению безопасности пунктов размещения особых радиоактивных отходов и пунктов консервации особых радиоактивных отходов [26].

А также санитарных правил в области обеспечения радиационной безопасности:

- Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормы, СанПиН СП 2.6.1.2523-09 [37];
- Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010, СП 2.6.1.2612-10 [38].

#### **О корректировке критериев отнесения РАО к особым.**

Тема оптимизации Критериев отнесения РАО к особым, как и классификации РАО для захоронения достаточно детально была описана в литературе [8, 20, 21], но внесение изменений в нормативные документы затягивалось, в том числе по причине требования

набора всеобъемлющих практик. Определенный оптимизм в отношении корректировки Критериев появился после его включения в План мероприятий по реализации Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 02.02.2019 № 139-р. Этот оптимизм существенно рассеялся после ознакомления с первой редакцией проекта изменений в постановление Правительства Российской Федерации «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069», подготовленной специалистами Ростехнадзора. В материале отсутствовали принципиальные изменения Критериев, но были ничем не оправданные новации по отнесению отходов к РАО. В первую очередь это относится к снижению порога отнесения к твердым РАО (ТРО) для большинства значимых радионуклидов в 10–100, а для некоторых до 10 000 раз. Соответствующие тексты, обосновывающие эти изменения публиковались в научной литературе [39, 40]. Также публиковались и критические замечания к подобным идеям [41]. Подобное нововведение, решая одну частную задачу (организация деятельности по обращению с промышленными отходами, содержащими радионуклиды), порождало много новых, в том числе отсутствие системы учета таких отходов и дополнительные расходы федерального бюджета за счет отнесения накопленных отходов к федеральной собственности.

Понятно, что эти предложения не были поддержаны Госкорпорацией «Росатом». Последовавшие длительные обсуждения этой темы привели к снятию с рассмотрения этой инициативы. Сегодня получены и реальные подтверждения надуманности проблем с организацией захоронения таких отходов на АЭС. В работе [42], например, рассмотрены вопросы сооружения пункта захоронения ОНРАО на Ростовской АЭС (объем – 11 000 м<sup>3</sup>).

Также благодаря настойчивости специалистов Госкорпорации «Росатом» и эксплуатирующих организаций вновь стали рассматриваться изменения в Критерии отнесения РАО к особым. К концу 2021 года изменения были согласованы и предусматривали следующие формулировки:

Пункт 1 Критериев отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и удаляемым радиоактивным отходам изложить в следующей редакции:

«1. К особым радиоактивным отходам относятся радиоактивные отходы, образовавшиеся в результате выполнения государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа, использования атомной энергии и ядерных зарядов в мирных целях или вследствие ядерной и (или) радиационной аварии на объекте использования атомной энергии, включая твердые радиоактивные отходы, размещенные в приповерхностных хранилищах, и жидкие радиоактивные отходы, размещенные в поверхностных водоемах -хранилищах радиоактивных отходов общим объемом более 25000 куб. м, введенных в эксплуатацию до вступления в силу Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», и донные отложения таких водоемов-хранилищ, а также радиоактивные отходы, образовавшиеся при осуществлении деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов, 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 захо-

роне), 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 (за исключением пунктов хранения радиоактивных отходов, введенных в эксплуатацию до вступления в силу нормативных правовых актов, устанавливающих такие границы)».

К концу 2021 года предложенные изменения были согласованы с большинством ведомств, но оставалась одна проблем – согласование с Росприроднадзором, который не согласовал проект изменений по причине отсутствия ясности в методике расчета «возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения при отсутствии там охотничьих ресурсов, растений и животных, занесенных в Красную книгу Российской Федерации» (письмо исх. № АА-10-01-29/35276 от 15.10.2021). Напомним, что в первых версиях Пособия предлагалось оценить дозы облучения на объекты биоты и, если пороговые значения превышены, пользоваться расценками за ущерб, в том числе для краснокнижных растений и животных. Это вполне укладывается в консервативный подход. В итоге продвижение проекта изменений ПП №1069 стало осуществляться с протоколом разногласий. По состоянию на сентябрь 2022 года проект прошел все согласования, в том числе с Минюстом России и в ближайшее время будет направлен в Правительство России.

## 1.2 Юридическое обособление объекта

В соответствии с положениями ст. 5 №190-ФЗ за Правительством Российской Федерации закреплено полномочие по отнесению ПХРО к ПЗРО, пунктам долговременного хранения РАО, пунктам размещения особых РАО, пунктам консервации особых РАО. Такое отнесение осуществляется на основании актов первичной регистрации РАО и установления мест их размещения по предложению Госкорпорации «Росатом» (ст. 23 №190-ФЗ).

В настоящее время состав документов для включения ПХРО в перечни пунктов размещения особых РАО, пунктов консервации особых РАО и ПЗРО установлен Приказом Госкорпорации «Росатом» от 26 апреля 2022 г. № 1/507-П «Об утверждении единого отраслевого порядка по переводу пунктов размещения особых радиоактивных отходов в пункты консервации особых радиоактивных отходов или пункты захоронения радиоактивных отходов и переводу пунктов консервации особых радиоактивных отходов в пункты захоронения радиоактивных отходов». Обязательные для предоставления документы включают в том числе правоудостоверяющие документы на ПХРО – выписку из Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН) (кадастровый паспорт).

Отметим необходимость наличия правоудостоверяющих документов на каждый ПХРО, подлежащий внесению в тот или иной перечень. В отдельных случаях данное требование существенно усложняет процесс установления статуса объекта. Особая сложность сопряжена с оформлением данных документов, в случае выделения части ядерной установки в качестве ПХРО. Это необходимо в случае реализации концепции ВЭ объекта по варианту «захоронение на месте». Типичным примером могут служить промышленные

реакторы, размещенные, в том числе в АО «ОДЦ УГР», для которых в качестве конечного состояния при выводе из эксплуатации было определено создание пункта консервации особых РАО или ПЗРО.

С учетом принадлежности выводимого из эксплуатации объекта к категории ядерных установок организации столкнулись с трудностями при оформлении документов на ПХРО. Отметим следующие два самых острых вопроса:

1. Кадастровый учет в связи с изменением основных характеристик сооружения, обусловленным выполнением демонтажных работ.

Для внесения изменений в ЕГРН в связи с изменением параметров сооружения (высоты, количества этажей, площади, строительного объема) и функционального назначения требуется оформление разрешения на ввод в эксплуатацию объекта капитального строительства. В случае ОИАЭ разрешение на ввод в эксплуатацию предоставляется Госкорпорацией «Росатом» и оформляется на основе ряда документов: разрешения на строительство/реконструкцию ОИАЭ, заключения органа государственного строительного надзора и документов, подтверждающих соответствие проектной документации. При этом получение разрешения на строительство/реконструкцию ОИАЭ требует положительного заключения государственной экспертизы проектной документации. Однако в случае работ по ВЭ такие документы просто отсутствуют.

Отметим, что ВЭ является видом деятельности, при котором не предусматривается сооружение нового объекта капитального строительства (за исключением необходимости сооружения вспомогательных и/или технологических зданий). В связи с этим, проектная документация на ВЭ ядерной установки не подлежит прохождению процедуры государственной экспертизы. Другими словами, имеются противоречия между требованиями к составу пакета документов для внесения изменений в ЕГРН и требованиям к документации, оформляемой при ВЭ.

2. Необходимость оформления комплекта документов, связанных с сооружением ПХРО.

Несмотря на то, что создание ПХРО предусмотрено проектной документацией на вывод из эксплуатации ядерной установки, и работы выполняются в рамках лицензии на вывод из эксплуатации, необходимость получения разрешения на ввод в эксплуатацию ПХРО обуславливает разработку документации, связанной с сооружением нового ОИАЭ – пункта хранения РАО, а именно:

- разработка проектной документации и прохождение процедуры государственной экспертизы;
- получение лицензии на сооружение/реконструкцию ПХРО;
- получение разрешения на сооружение/реконструкцию ПХРО;
- оформление разрешения на ввод в эксплуатацию ПХРО;
- разработка материалов обоснования лицензии и получение лицензии на эксплуатацию ПХРО.

Существование перечисленных нормативных коллизий приводит к тому, что к настоящему моменту только для одного объекта, выведенного из эксплуатации по варианту «захоронение на месте», а именно для ПУГР ЭИ-2, установлен согласованный юридический статус по результатам первичной регистрации РАО и по лицензионной документации. Несмотря на то, что работы по консервации объекта были завершены в 2015 г. в полном объеме в соответствии с проектными решениями, объект получил только в 2020 г., лишь статус пункта размещения особых РАО что в дальнейшем потребует оформления дополнительных документов или проведения работ для его перевода в пункт консервации особых РАО.

С учетом сложившихся коллизий правового характера для остальных ПУГР на данный момент принято решение проводить работы по выводу из эксплуатации в два этапа. На первом этапе предусматривается перевод объекта в статус ПХРО (пункта размеще-



ния особых РАО), на втором этапе – выполнение работ, обуславливающих создание пункта консервации особых РАО с последующим изменением статуса объекта.

Отметим, что подобный подход существенно усложняет технические решения. В связи с необходимостью выполнения требований, установленных для ПХРО, после завершения работ первого этапа предусмотрено функционирование ряда обеспечивающих систем, что приводит к росту затрат на эксплуатацию объекта.

Сегодня данная проблема актуальна для многих пунктов размещения особых РАО, прошедших процедуру первичной регистрации РАО. Отметим, что ст. 23 № 190-ФЗ установлено, что принятие решения об отнесении РАО, находящихся в пункте долговременного хранения, к особым РАО или удаляемым РАО может быть отложено до истечения определенного проектом срока эксплуатации пункта долговременного хранения. Однако, хотя такая норма и предусмотрена №190-ФЗ, конкретный механизм реализации данной нормы не установлен. Отметим, что отдельные примеры отнесения РАО, принятие решения о статусе которых в рамках первичной регистрации было отложено, к особым РАО имеются. Например, пункты хранения бывшего Кирово-Чепецкого отделения ФГУП «ФЭО» (в настоящее время - Приволжский филиал ФГУП «РАДОН»), прошедшие процедуру первичной регистрации РАО и установления мест их размещения и оформленные как пункты долговременного хранения, были впоследствии отнесены к пунктам размещения особых РАО. Для принятия такого решения было оформлено дополнение к акту первичной регистрации, подкрепленное необходимыми обосновывающими документами (в том числе обоснованиями).

Еще один аспект появления новых ПХРО связан с выводом из эксплуатации ОИАЭ. Действующими ФНП предусмотрена возможность ВЭ ОИАЭ по варианту «захоронение на месте», что подразумевает создание ПХРО – пункта консервации особых РАО или ПЗРО. Однако, вопрос о возможности реализации такого варианта вывода из эксплуатации остается открытым. В нормативной правовой базе в настоящее время не урегулирован вопрос отнесения РАО, размещенных в создаваемом ПХРО, к накопленным РАО. А как известно, в соответствии со №190-ФЗ отнесение к пунктам размещения и пунктам консервации особых РАО предусмотрено исключительно в отношении накопленных РАО и осуществлялось при проведении первичной регистрации РАО и установлении мест их размещения. Кроме того, сроки проведения первичной регистрации РАО, установленные постановлением Правительства Российской Федерации от 25 июля 2012 г. № 767 «О проведении первичной регистрации радиоактивных отходов», истекли. Иные юридические механизмы по закреплению за новым ПХРО статуса пункта размещения особых РАО или пункта консервации особых РАО не предусмотрены. Таким образом, практическая реализация варианта ВЭ ядерных установок, связанного с захоронением объекта на месте, не урегулирована в действующей нормативной правовой базе. Тем не менее, данная проблема может быть актуальной для отдельных объектов (например, для радиохимических производств), ВЭ которых по варианту «ликвидация» будет сопряжен со значительными радиационными рисками и/или затратами.

### **1.3 Интеграция данных по объектам, создание цифровых моделей объектов и геологических баз данных как способ повышения эффективности работ**

Процесс подготовки обосновывающих безопасность ОИАЭ материалов, в том числе ООБ и обоснования отнесения РАО к особым или удаляемым, сопровождается сбором, систематизацией и анализом больших массивов информации не только о самом объекте, но и месте его размещения, а также требует организации информационного обмена между широким кругом специалистов и заинтересованных сторон, участвующих в формировании и использовании документации.

Актуальность и важность задач управления и сохранения информации сегодня возрастают многократно. Стоит отметить, что важность (необходимость) задач обработки информации, например оцифровка и классификация первичной документации, на сегодняшний день практически не требует обоснования. Задачи сохранения информации приоритетны для таких объектов, как пункты хранения особых РАО и ПЗРО, жизненный цикл которых может оцениваться в сотни и тысячи лет. Применение современных ИТ-инструментов консолидированного управления информацией по промышленным объектам (или на уровне продукта, площадки, предприятия), в том числе подлежащим ВЭ ОИАЭ и ПХРО, качественно поднимает уровень информационного менеджмента в организации, а, следовательно, и эффективность выполнения работ.

Разработка и применение инструментов системы управления данными (СУД), баз данных (БД) информационных порталов и пр., сопровождается как базовыми процессами обработки данных (такими как оцифровка, создание и сопровождение цифровых архивов), так и сложными информационными процессами (такими как правила безопасности и описание знаний об элементах и безопасности ПХРО). Комплексным информационным решением, позволяющим системно решать задачи как интеграции данных и знаний о безопасности, так и информационного менеджмента безопасности технологического объекта является информационное моделирование (ИМ). Основным результатом ИМ является создание и сопровождение цифровой информационной модели (ЦИМ) объекта, интегрированной в структуру бизнес-модели. Информационная модель развивается на базе технологии автоматизированного проектирования, предоставляя новые решения для системного обмена информацией об объекте, как на стадиях изысканий, проектирования, сооружения, так и на стадии ВЭ, а также является удобным инструментом сохранения знаний об объекте [43-45].

Ниже приведены практические примеры оцифровки и создания ЦИМ объектов, подлежащих ВЭ, а также ПХРО. Показаны примеры использования ЦИМ в качестве «хранилища данных», возможности стандартов обмена данными для конвертации данных ООБ и обмена информации между участниками процесса «обоснования отнесения РАО к особым» в цифровом виде.

## **Сбор первичных данных об ОИАЭ**

Практика сбора первичных данных по объектам ОИАЭ, в том числе объектам наследия, показывает различный уровень их оцифровки в организациях. В последнее время стала широко применяться практика оцифровки текущих архивов проектно-сметной документации, сформированы файловые архивы проектных данных по объекту. Широкое распространение, особенно по блокам АЭС, получили специализированные БД ВЭ (локальные БД ВЭ), представляющие собой ИТ-решения на базе архитектуры СУБД или СУД.

После вступления в силу №190-ФЗ, регламентирующего обязательность захоронения РАО (для удаляемых РАО в ПЗРО, для особых РАО на месте), крайне важно создавать и поддерживать локальные ИТ-решения (БД, файловое хранилище данных) по оцифровке и сбору данных по таким объектам как ПХРО, ПЗРО. Важным является и регулярное проведение внутренней оценки уровня оцифровки данных, описывающих современное состояние ПХРО, его основные характеристики, а также характеристики РАО, места размещения ПХРО и т.д., важных для обоснования отнесения РАО к особым и удаляемым, выполнения оценок текущей и долговременной безопасности, обосновании оптимальных решений по переводу объекта в ПЗРО.

Внутренняя оценка уровня оцифровки данных может строиться на следующих показателях: объем оцифровки существующих данных (в процентной доле от общего количества единиц хранения), наличие и список всех ИТ-инструментов по работе с архивом и оцифрованными данными (учет всех БД/СУБД, порталов и др.), наличие механизма им-

порта / экспорта данных, описывающих как объект, так и структуру архива, наличие цифровых данных (облако точек наземного лазерного сканирования, цифровой модели).

Процесс сбора, обработки и обмена данными, важными для обоснования и принятия решений о необходимости (а) повышения уровня безопасности объекта, (б) выполнения отдельных работ на объекте и (в) повышения их эффективности, (г) пересмотра ранее принятых решений по варианту ВЭ (в ряде случаев, по отнесению РАО к особым или удаляемым), (д) уточнения оценок долговременной безопасности и т.д., включает такие работы, как:

1. составление структуры данных и ее последующая актуализация (например, раз в год, в десять лет);
2. регулярный сбор и учет данных, полученных в рамках текущей эксплуатации объекта, мониторинга, радиационного контроля, и, в частности, процедуры оценки безопасности ПХРО;
3. наполнение архива цифровыми данными (импорт данных).

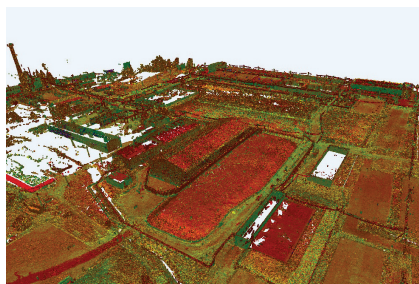
### **Применение наземного лазерного сканирования при мониторинге ПХРО**

Для оценки состояния ПХРО важны актуальные данные о его техническом состоянии, включая данные о состоянии, деформациях и нарушениях нормального состояния барьеров безопасности. Для оценки безопасности ОИАЭ, в том числе ПХРО, выполняется мониторинг – текущего состояния отдельных конструкций/ элементов/ барьеров безопасности, который осуществляется как натурно (в рамках регулярных натуральных осмотров и составления дефектных ведомостей или актов повреждений объекта), так и с применением специализированных средств и инструментов. Одной из получивших широкое применение технологий инвентаризации состояния объекта, является технология наземного лазерного сканирования (НЛС). Сегодня для НЛС широко применяются сканеры в задачах контроля и мониторинга сооружения/ строительства. Результатом НЛС является так называемое «облако точек» – трехмерная модель объекта, представляющая собой набор множества точек измерения лазера.

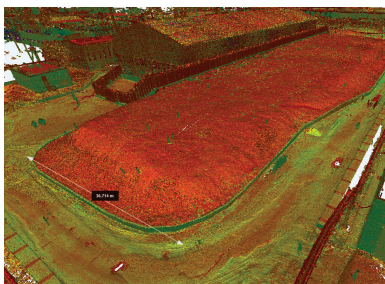
За период 2019–2022 гг. ИБРАЭ РАН реализовал проекты оцифровки ОИАЭ по следующим площадкам: ФГУП «ГХК» (радиохимический завод), АО «ОДЦ УГР», АО «СХК» (площадка № 3 радиохимического завода), бывшая площадка АО «ВНИИХТ» (в настоящее время – Московский филиал ФГУП «РАДОН»), площадки № 1 и 2 Радиевого института им. В.Г. Хлопина, Приволжский филиал ФГУП «РАДОН» (г. Кирово-Чепецк), НПК ФГУП «Радон» (площадка близ г. Сергиев-Посад), АО «АЭХК» (сублиматное производство), ПАО «НЗХК». Результатами данных работ являются:

- а) первичные данные НЛС – цифровые данные, 3D-модель («облака точек»);
- б) ЦИМ площадок, разработанные с различным уровнем проработки как геометрии объектов (LOG), так и наполнения атрибутивной информации (LOI);
- в) результаты расчетов радиационного загрязнения объектов на основе данных КИРО и расчетного построения полей радиационного загрязнения. Отметим, что в ЦИМ были включены результаты моделирования в виде цифровых картограмм радиационного загрязнения (рисунок 1.2);
- г) nD-модели динамической последовательности хода работ согласно проектам по ряду объектов (работ по дезактивации, демонтажу). В разработанных nD-моделях учтены: план-график работ по ВЭ, время, стоимость работ, задействованные ресурсы и конкретные элементы модели.

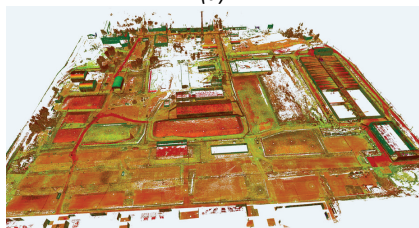
Далее приведены краткие результаты НЛС для отдельных ПХРО.



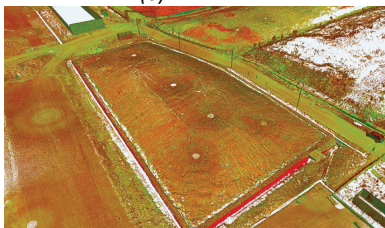
(a)



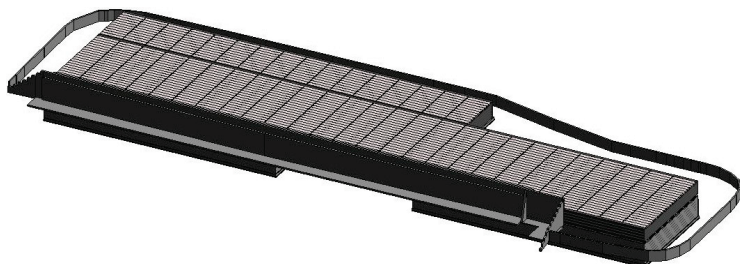
(б)



(в)



(г)



(д)

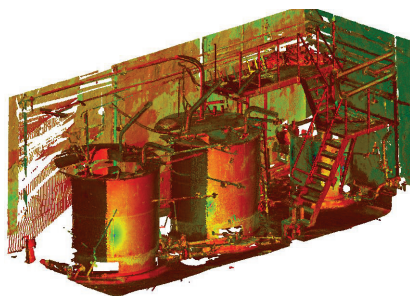
Рисунок 1.2 - Примеры реализации ИМ ПХРО (а-г) – панорамный вид 3D модели «облака точек» площадки ФГУП «РАДОН», д) – ЦИМ ПХ РАО).

В форме файлов НЛС (файлов «облаков точек») сохраняются цифровые данные о геометрии покрывающих покрытий и инженерных барьеров (рисунок 1.2 б, д). На основе этих данных осуществляется построение ЦИМ. Разработанные информационные модели включают различные категории данных по объектам. Все данные представлены в виде атрибутов объектов – элементов модели. ЦИМ реализует атрибутивное описание каждого объекта (элемента) модели (в таблице 1.3 приведен пример структуры проработки элементов по отдельным категориям).

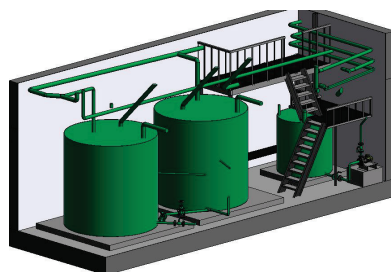
В выполненных проектах оцифровки объектов и ЦИМ уровень геометрии (LOG, рисунок 1.3) и информационной насыщенности (LOI), т. е. объем атрибутивного описания элементов модели, реализованы в объеме решения задачи оценки объемов РАО, образующихся при проведении работ. Элементы ЦИМ включают следующие категории данных (группы атрибутов): массогабаритные характеристики, тип материала, данные радиационного загрязнения, классификационные данные функционального назначения оборудования и систем. По каждому помещению в составе ЦИМ реализуется цифровая картограмма радиационного загрязнения (рисунок 1.4).

Таблица 1.3 – Пример объема проработки отдельных элементов модели

Раздел	Категории элементов
АР	Стены, перекрытия, окна, Несущие колонны, ЖБ несущий каркас, МК несущий каркас, МК марш, ЖБ марш, Крыша, лестничный марш,
Трубопроводы ТХ	Трубы стальные бесшовные 40 мм, 80 мм, 100мм, 150 мм, 250 мм, 350 мм, 400 мм.
Трубопроводы ОВ	Трубопроводы 50 мм, 65 мм, 100 мм
Облицовка	Бетон - 20мм, Пластикат - 1мм, Плитка - 5мм
Раздел ОВ	
Помещения	Зона, Нумерация помещений, уровней, отметок, осей.
Основное технологическое оборудование	Вытяжной шкаф, Коммутационная и распределительная аппаратура РУ-6кВ, Сейф, Шкаф автоматики, Шкаф дерев, Шкаф металл, Кран электро-мостовой, Коммутационная и распределительная аппаратура силового щита 380/220, Шкаф электрический, Вакуумные посты, Водонагреватель, Гелиевый течеискатель, Ионопровод МГЦ-20 с оборудованием, Ионопровод ЭГ-5 с оборудованием, Коллиматор, Мотогенератор, Облучатель, Оборудование МГЦ-20, Оборудование ускорителя МГЦ-20, Станок Поперечный строгальный по металлу, Станок сверлильный, Станок токарный, Станок фрезерный, Стиральная машина, Течеискатель ПТИ-7, Ускоритель МГЦ-20, Ускоритель НГ-400



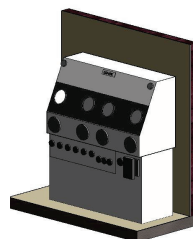
(а)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 1.3 – Реализация различных уровней проработки геометрии (LOG) технологического оборудования (а, в) – вид элемента модели в режиме просмотра данных лазерного сканирования; (б, г) – проработка элемента модели

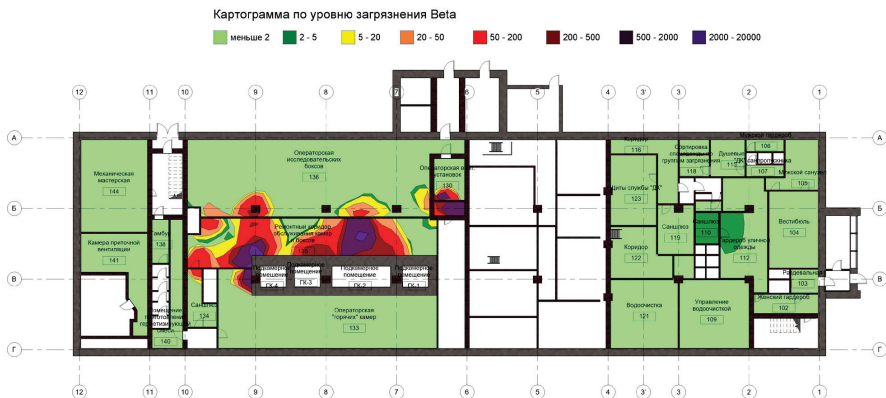
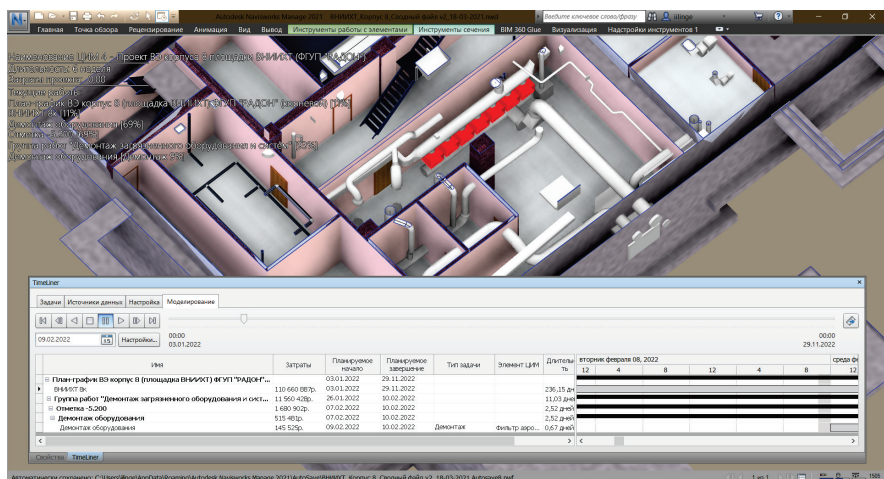


Рисунок 1.4 – Картограмма плотности потока  $\beta$ -частиц

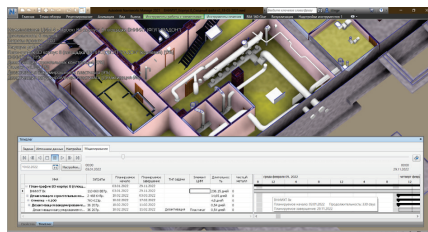
Примером последующей интеграции данных в рамках ЦИМ является динамическая модель реализации хода работ. Данный вид модели включает в себя разработанную ЦИМ, план-график работ по, включая: назначенные на работу ресурсы, временные параметры сроков выполнения работ (поля «дата начала», «дата окончания», «дата фактического начала», «дата фактического окончания»), описание работ (поля «наименование работы», «кодовой идентификатор», «расширенное наименование работы»), набор элементов модели, в отношении которых реализуется какой-либо вид рабочей процедуры (монтаж, демонтаж, дезактивация, осмотр и т.д.), вид визуализации элемента модели (изменение цвета, прозрачности, движение набора элементов). По результатам моделирования и визуализации хода работ согласно проекту представляются новые возможности для повышения эффективности работ, пересечения работ, а также для анализа реализуемости предложенных в проекте решений (рисунок 1.5).

В заключение отметим, что среди основных преимуществ использования ИМ в процессе обоснования безопасного и эффективного обращения с РАО можно выделить:

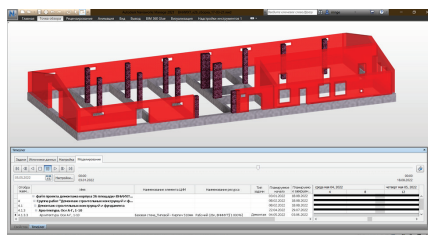
- ИМ является признанным в отрасли проектирования и строительства набором технологических решений и практик;
- сбор, обновление, обмен данными и материалами при формировании обосновывающих безопасность ПХРО документов или принятых решений по ВЭ ОИАЭ, обращение с РАО и т. д., с применением ИМ усилит универсальный подход по обмену данными на всех стадиях жизненного цикла ОИАЭ, в том числе ПХРО, в цифровом виде. Стандарты обмена позволяют реализовать «цифровое описание объекта», обеспечить сохранность информации, что крайне важно для пунктов размещения/консервации особых РАО, ПЗРО.
- подход к стандартизации формата обмена информацией, а не специализированного ПО, повышает конкуренцию среди цифровых решений по сопровождению процессов обоснования безопасного ОИАЭ, обращения с РАО (обоснований безопасности ПЗРО, в том числе долговременной, и отнесения РАО к особым или удаляемым).



(а)



(б)



(в)

Рисунок 1.5 – Моделирование хода выполнения работ по ВЭ: (а) – демонтаж оборудования, (б) – дезактивация пола, (в) – демонтаж стен

#### 1.4 Стоимость содержания, мониторинга, периодического радиационного контроля пунктов хранения накопленных РАО

Задача оценки затрат на поддержание в безопасном состоянии (ПБС) ПХРО является крайне сложной и специфической ввиду целого комплекса факторов, вследствие чего ее решение требует достаточно серьезной проработки. В 2011 году №190-ФЗ накопленные РАО были отнесены к федеральной собственности, и, соответственно, была закреплена ответственность государства за финансирование работ по безопасному обращению с та-

кими отходами, к которым относится и поддержание пунктов их хранения в безопасном состоянии. Сегодня фактически все работы по ПБС ПХРО, содержащих накопленные РАО, выполняют эксплуатирующие организации, а затраты на их выполнение частично покрываются за счет выделения им субсидий из федерального бюджета (ПП Субсидии [46, 47]). В соответствии с требованиями ПП Субсидии, организации в установленном порядке должны подавать заявки на покрытие затрат и обосновывающие финансовые документы, подтверждающие целевое назначение осуществляемых затрат.

Ввиду того, что до вступления в силу №190-ФЗ необходимость решения задачи оценки затрат на ПБС ПХРО у организаций отрасли отсутствовала, то системы ведения бухгалтерского и управленческого учета в них не позволяли однозначно выделить из общей структуры затрат данное направление расходования средств. В большинстве организаций на ОИАЭ также отсутствуют приборы индивидуального контроля расходования ресурсов (тепла, воды и т. д.), что делает возможным оценку затрат по данному направлению только косвенными методами.

В рамках государственных контрактов ФЦП ЯРБ-2 была предусмотрена работа по оценке и анализу затрат организаций Госкорпорации «Росатом» на ПБС ПХРО и разработке соответствующих методик. Работа проводилась поэтапно и включала:

- очную проработку вместе со специалистами 3 организаций Госкорпорации «Росатом», выбранных в качестве пилотных, вопросов оценки затрат на ПБС остановленных ОИАЭ и ПХРО, и формирование методики выделения затрат из привычной системы ведения бухгалтерского учета;
- разработку и направление в организации отрасли запросов для оценки затрат в соответствии со сформированной методикой;
- сбор, систематизацию и анализ данных о затратах организаций отрасли на ПБС ПХРО (для накопленных РАО);
- верификацию полученных данных, путем сравнения объема и структуры затрат среди различных организаций;
- выполнение оценки усредненных удельных затрат на ПБС различных типов ПХРО с применением эконометрических методов.

В настоящий момент совокупные затраты организаций Госкорпорации «Росатом» на ПБС накопленных РАО оцениваются в размере 4–5 млрд руб./год. Затраты на ПБС крупных открытых водоемов-хранилищ и хвостохранилищ (более 100 тыс. м<sup>3</sup> общей площадью) в абсолютном выражении оцениваются в диапазоне от 18 до 60 млн руб./год. В пересчете на 1 м<sup>2</sup> общей площади расценка на безопасное хранение составляет от 30 до 60 руб./м<sup>2</sup> для открытых водоемов-хранилищ (за исключением водоемов-хранилищ ФГУП «ПО «Маяк», включая ТКВ), и от 1 до 10 руб./м<sup>2</sup> для хвостохранилищ.

После консервации открытых водоемов-хранилищ РАО затраты на безопасное хранение РАО могут сократиться до 3 раз, преимущественно за счет снижения затрат на техобслуживание и работы по ремонту ИББ, которые в общей структуре затрат могут достигать 70%. При этом практически неизменными остаются затраты на радиационный контроль и мониторинг, а также косвенные затраты – освещение, охрана территории и пр.

Затраты на обеспечение безопасного хранения РАО, размещенных навалов в приповерхностных хранилищах без ИББ (таких типов как могильники, хранилища траншейного типа, отвалы, ямы и т. д.), и расположенных на открытых площадках, не превышают 8 млн. руб./год. В пересчете на 1 м<sup>2</sup> занимаемой площади затраты составляют 35–75 руб./м<sup>2</sup>. Значительно выше расценка при хранении РАО в сооружениях с инженерными защитными барьерами безопасности – до 500 руб./м<sup>2</sup> занимаемой площади или до 200 руб./м<sup>3</sup> размещенных отходов.

Наиболее высокие стоимости на хранение РАО отмечены при их размещении в упаковках в специализированных зданиях, ввиду высоких затрат на техобслуживание и ремонты строительных конструкций, а также на тепло- и электроэнергию. При данном способе хранения РАО затраты на содержание варьируются в диапазоне от 1,5 до 6,5 тыс. руб./м<sup>3</sup> размещенных отходов. Стоит отметить, что практически все накопленные РАО, размещенные в специализированных зданиях, относятся к категории удаляемых.



## 2. Научно-технические основы обоснования долговременной безопасности пунктов хранения особых РАО

### 2.1 Общий подход к обоснованию долговременной безопасности пунктов хранения особых РАО

Общий подход к обоснованию долговременной безопасности пунктов хранения особых РАО не может и не должен отличаться от такового, применяемого для обоснования других подобных объектов – ПЗРО, специально создаваемых для захоронения удаляемых РАО. Причина кроется в том, что эти объекты создаются с единой целью – изоляцией радионуклидов, входящих в состав РАО, от среды обитания человека, или, другими словами, защиты человека и среды его обитания от радиационной опасности локализованных (размещенных для захоронения) радионуклидов.

Основные требования, установленные в нормативной документации, в отношении объектов захоронения вырабатываются по результатам анализа безопасности в долгосрочной перспективе, и, базируются на отдельных выводах, полученных в результате такого анализа. Примером требований, закрепленных и в российских, и в международных нормативных документах, могут являться:

- установление функций барьеров и обоснование сроков их сохранения на основе анализа внешних и внутренних процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения, характерных (или вероятных) для системы захоронения РАО и места размещения объекта;

- необходимость анализа взаимного влияния барьеров друг на друга, на размещаемые/размещённые для захоронения РАО и вмещающую среду;

- принцип многобарьерности, определяющий, что отказ любого из барьеров безопасности (реализация функций барьера направлена на обеспечение долговременной безопасности объекта) не должна приводить к превышению критериев безопасности и т. д.

Очевидно, что множество характеристик объекта, таких как принимаемые технические решения, место размещения, прогнозы эволюции как самого объекта, так и его «окружения», в каждом конкретном случае определяют уровень его безопасности в долгосрочной перспективе. В качестве примера – размещение ПЗРО на ненаселенных территориях с одной стороны делает его весьма безопасным и позволяет снизить стоимость принимаемых для обеспечения безопасности технических решений, с другой стороны повышает риски существенного снижения уровня безопасности в случае прогнозов освоения человеком территории и т. д.

Кроме означенных выше факторов, существенным является понимание того, каков период времени сохранения объектом и размещенными в нем РАО (содержащими радионуклиды), своей потенциальной опасности. С одной стороны, данный период определяется содержанием (удельной активностью) радионуклидов, определяющих потенциальную опасность РАО и периодами полураспада данных радионуклидов. С другой стороны, суммарное количество (активность) радионуклидов, даже в незначительных с точки зрения нормативных требований содержаниях, являясь чрезвычайно большим, может вызвать негативные последствия для населения и окружающей среды.

Таким образом, обоснование долговременной безопасности требует высокой достоверности прогнозирования развития ситуации с учетом всех научно-технических аспектов развития антропогенно-техногенной системы ПЗРО. Такой учет не всегда возможен, а достоверность подобных прогнозов неминуемо снижается с течением времени. При этом существенные дополнительные неопределенности вносит и фактор слабой предсказуемости деятельности человека, развития всего человечества.

В ходе анализа долговременной безопасности принято выделять несколько принципиально различающихся по своим характеристикам периодов, характерных прежде все-

го потенциальной возможностью прогнозировать потенциально негативные процессы, явления и факторы, включая деятельность человека на территории размещения объекта. Принципиально выделяют следующие периоды:

1. Первые сто-триста лет от момента закрытия ПЗРО (перевода пункта размещения/ консервации особых РАО в ПЗРО) – сохранение основных значений и трендов развития процессов, сохранение «активного» (административного) контроля над территорией размещения объекта, препятствующей несанкционированным действиям.

2. Двести-пятьсот лет – сохранение трендов развития процессов, проявление событий, с характерной частотой до  $10^{-3}$  1/год, сохранение пассивного контроля над территорией размещения объекта – информации об его размещении в соответствующих кадастрах.

Далее, при условии сохранения потенциальной опасности размещенных РАО:

3. Тысячи и десятки тысяч лет – проявление событий с характерной частотой до  $10^{-4}$  1/год: практически весь спектр техногенных событий, включая непреднамеренное вторжение человека в этот период произойдет с вероятностью, равной 1, включая реализацию всех возможных предельных научно-обоснованных прогнозов изменения состояния инженерных барьеров и среды;

4. Десятки и сотни тысяч лет – проявление событий с характерной частотой до  $10^{-5}$  1/год: практически весь спектр природных воздействий (кроме крайне редких – «катастрофических») и техногенных событий, включая непреднамеренное вторжение человека, реализуются в этот период. Научно-обоснованное прогнозирование изменений состояния инженерных барьеров безопасности и среды в это период затруднены, чаще принимаются предельные значения;

5. Сотни тысяч и миллионы лет – проявление в том числе характерных катастрофических явлений (с характерной частотой до  $10^{-6}$  1/год и менее), в том числе последствий тектонических процессов, существенные изменения климата и другие маловероятные события.

Очевидно, что отдельные значения характеристик объекта, вмещающей среды, интенсивности процессов, явлений и факторов, будучи достоверно определенными в период создания ПЗРО (перевода пункта размещения/консервации особых РАО в ПЗРО), могут лишь с невысокой степенью достоверности прогнозироваться на весь период сохранения потенциальной опасности РАО, превышающей тысячи лет. Для снижения влияния неопределенностей на результаты оценок долговременной безопасности ПЗРО в настоящее время применяются два взаимно дополняющих подхода:

1. Использование реалистических значений там, где это возможно, и допущение прогнозов и обоснованных консервативных значений (заведомо приводящих к более негативным результатам анализа безопасности) – там, где в ходе анализа обнаруживаются недостатки реалистических данных.

2. Анализ чувствительности расчетно-прогностических моделей, результаты которых рассматриваются как оценка безопасности, к их параметрам и исходным данным. Это позволяет выявлять параметры, неопределенность которых вносит наибольший вклад в неопределенность результата моделирования при различных сценариях эволюции системы. Этот подход позволяет снизить неопределенность результата оценки долговременной безопасности за счет уменьшения неопределенности наиболее значимых исходных данных. Также при использовании расчетов с варьированием параметров может быть оценен «спектр» вероятности показателей безопасности.

Оценку долговременной безопасности ПХРО принято выполнять с использованием итерационного подхода [48], который подразумевает проведение первичной и повторных оценок. При первичной оценке долговременной безопасности с использованием консервативных (наиболее реалистических из доступных к построению) моделей, определяются: изученность объекта и среды размещения, чувствительность параметров моделей, вырабатываются наиболее пессимистичные консервативно-реалистичные оценки. В случае если

соответствие нормативным требованиям не подтверждено, разрабатываются рекомендации по проведению дополнительных изысканий и исследований, по результатам которых проводится повторная оценка безопасности. Повторная оценка выполняется с целью уточнения результатов по мере обновления, накопления и/или переинтерпретации исходных данных, корректировки сценариев эволюции системы размещения РАО, совершенствования разработанных моделей, методик и/или реализующих их программных средств.

Следует отметить, что отдельные свойства объекта захоронения или места его размещения могут существенно косвенно влиять на безопасность за счет возникновения дополнительных «альтернативных» вариантов последовательностей развития событий. При этом анализ процессов, явлений и факторов и его результаты могут существенно различаться. В связи с этим, современные практики анализа долговременной безопасности обязательно оперируют как наиболее вероятными последовательностями событий, также называемыми в нормативно-технической документации «базовыми», и маловероятными – именуемыми также «альтернативными».

Методы проведения анализа (аналитические/численные), используемые подходы к выбору и обоснованию исходных данных (реалистические/консервативные), применяемые программные средства и другие аспекты получения оценок долговременной безопасности могут различаться при анализе различных сценариев эволюции.

Потенциальное воздействие размещенных для захоронения РАО может являться сочетанным – то есть складываться из воздействий нескольких условно независимых источников. При этом нормирование предельных воздействий для таких объектов является общим. Однако в настоящее время оценка долговременной безопасности преимущественно выполняется для конкретных ПЗРО, в то время как фактически на промплощадках в настоящее время могут размещаться более одного объекта. В таких случаях оценка долговременной безопасности должна учитывать прогнозы воздействий всех объектов, а расчет дозового воздействия на население проводится по сочетанному влиянию всех объектов.

Процесс обоснования долговременной безопасности в общем случае можно представить в виде последовательности следующих итеративно повторяющихся шагов (рисунок 2.1) [49, 50]:

- определение контекста оценки безопасности;
- описание системы захоронения;
- разработка и обоснование сценариев;
- формулировка и реализация моделей;
- анализ результатов и формирование доверия.

Конечная цель процесса обоснования долговременной безопасности ПЗРО – это обеспечение уверенности заинтересованных сторон (правительства, органов регулирования, широкой общественности и научного сообщества) в том, что объект расположен и сооружен таким образом, чтобы обеспечить безопасность людей и защиту окружающей среды на больших временных масштабах. Тем не менее, из такой обобщенной цели не вытекает детального описания того, из чего оценка безопасности должна состоять.

Поэтому начинается обоснование долговременной безопасности с задания контекста оценки безопасности. Это сведения о том, какие характеристики оцениваются и почему они оцениваются.

Ответы на эти вопросы могут различаться, и если эти решения будут принимать непосредственно специалисты, осуществляющие расчеты, то получаемые результаты будут трудно сопоставимы. В контексте оценки безопасности должны быть явно прописаны основные аспекты, а именно:

- цель (например, является ли это обобщенным анализом для проектов такого типа или осуществляется оценка в рамках подготовки к получению лицензии на какой-либо этап жизненного цикла конкретного объекта);



Рисунок 2.1 – Схема процесса обоснования долговременной безопасности

- соответствующая нормативная база (в т. ч. критерии безопасности);
- оцениваемые индикаторы (англ. end-points, т. е. конечные точки численных оценок – конкретные величины, которые будут получены в результате расчетов);
- философия оценки (т.е. различные аспекты подхода к анализу, например, итеративность, реалистичность или консервативность, рамочные оценки или анализ конкретной площадки и т.д.);
- перечисление основных элементов анализируемой системы захоронения;
- рассматриваемые временные масштабы.

Следующий базовый элемент обоснования долговременной безопасности – это подробное описание системы захоронения, включая окружающую природную среду и население, анализ потенциально протекающих в ней процессов. Как правило, рассматриваются:

- источник радионуклидов: форма РАО и их упаковка, ее отдельные элементы (если имеются);
- инженерная часть ПЗРО: инженерные барьеры безопасности ПЗРО, включающие строительные конструкции ячеек захоронения РАО, применяемые буферные материалы, запечатывающие элементы, покрывающий и подстилающий экраны;
- ближняя зона: вмещающие и (или) несущие горные породы, измененные в процессе сооружения и (или) эксплуатации ПЗРО, или те, на которые может быть оказано непосредственное влияние после закрытия ПЗРО;
- дальняя зона: неизмененные горные породы, на которые не оказывалось влияние при сооружении и эксплуатации ПЗРО, состояние и характеристики которых влияют на миграцию радионуклидов в окружающей природной среде;

– биосфера: физическая среда (атмосфера, почва, донные отложения, поверхностные воды) и взаимодействующие с ней живые организмы, включая человека.

Только после того, как установлен контекст оценки безопасности и сформировано описание анализируемой системы захоронения, может начинаться непосредственно анализ безопасности.

Для реализации такого анализа формулируется набор сценариев – описание возможных внутренне непротиворечивых последовательностей будущих условий и событий эволюции системы захоронения. Сценарии позволяют обработать неопределенности, связанные с будущим, непосредственно описывая возможные последовательности развития событий. Они также позволяют смешение количественного анализа и качественных суждений. В суперпозиции выбранные сценарии должны на основе контекста оценки безопасности и описания системы захоронения сформировать относительно полную картину ее эволюции и возможных путей распространения радионуклидов.

После того, как сценарии разработаны, соответствующие им последствия должны быть проанализированы в терминах индикаторов и критериев, определенных при описании контекста оценки безопасности.

Чтобы получить количественные оценки, сценарии сначала должны быть систематизированы в форме, позволяющей математическое представление.

Первый шаг такой систематизации – это описание концептуальной модели, т.е. набора предположений, которые лягут в основу численной модели. Сюда входит описание: моделируемых процессов, явлений и факторов, их взаимосвязей; граничных условий; размерности; пространственных и временных рамок применимости модели.

При этом сценарий может быть декомпозирован на набор моделей не единственным образом: в зависимости от уровня понимания и доступности информации подсистемы и их взаимодействия могут быть рассмотрены с разной степенью детальности, одни и те же процессы могут быть описаны моделями разной сложности и т. д.

Концептуальная модель ложится в основу численной модели, с помощью которой будут получены оценки безопасности. Для этого перечисленные предположения записываются в виде систем уравнений с соответствующими граничными и начальными условиями, которые затем необходимо решить, как правило, с использованием специализированных расчетных средств.

Наконец, чтобы выполнить расчет, необходимо параметризовать модель, т.е. задать входные данные для расчета. Это могут быть характеристики системы захоронения (например, размеры и материалы барьеров безопасности), параметры воздействия на человека (например, нормы потребления пищевых продуктов, коэффициенты занятости) и характеристики источника радионуклидов (например, коэффициенты распределения, коэффициенты переноса, дозовые коэффициенты). Важным аспектом параметризации моделей является учет связанных с различными параметрами неопределенностей, которые возникают как в силу ограниченной точности доступных измерений, так и в силу естественной вариабельности тех или иных свойств [51].

Следует отметить, что выбор сценариев и соответствующих моделей очень важен и сильно влияет на получаемые оценки безопасности. Набор сценариев зависит от цели оценки и должен позволять проанализировать и эволюцию системы в целом, и выявить критические вопросы, и убедиться в робастности подсистем. Подходы к разработке сценариев часто оказываются в фокусе в процессе независимых экспертиз, и их прозрачность является важным аспектом формирования доверия к оценке долговременной безопасности.

После того как сценарии и связанные с ними концептуальные и математические модели разработаны и реализованы в программных средствах, а необходимые для расчетов данные собраны, можно переходить непосредственно к оценкам воздействия ПЗРО на окружающую среду. Результаты расчетов должны быть систематизированы, проанализированы, проинтерпретированы и сопоставлены с применимыми критериями (которые ранее были выделены при описании контекста оценки безопасности).

Критерии могут исходить из нормативных документов или других требований заинтересованных сторон. Также часто для повышения доверия полученные оценки сравниваются с результатами других исследований. В любом случае результаты расчетов должны быть приведены в форму, позволяющую сопоставление с имеющимися критериями.

Также при представлении результатов оценок безопасности важно продемонстрировать, как были учтены неопределенности, возникающие из различных источников:

- неопределенность эволюции системы захоронения в интересующем временном масштабе (сценарная неопределенность);

- неопределенность концептуальных, математических и компьютерных моделей, используемых для описания поведения и эволюции системы захоронения (например, из-за неспособности моделей полностью представить систему, приближений, используемых при решении уравнений модели, численных ошибок);

- и неопределенность исходных данных для оценки безопасности.

В завершение вводного раздела следует отметить, что проведение оценки долговременной безопасности захоронения (окончательной изоляции) РАО на сегодняшний день является скорее научно-исследовательской, а не инженерной работой, так как при реализации не предусматривается строгих правил и конкретных расчетных механизмов. Успех процесса разработки оценок долговременной безопасности зависит от обоснованности принимаемых в расчет данных, применяемых при проведении расчетов моделей, учета всех значимых процессов, явлений и факторов.

Конкретные значения показателей оценки долговременной безопасности, научные основы проведения соответствующего анализа, примеры расчетов и другие иллюстрации процесса оценки долговременной безопасности, а также наиболее интересные подходы к обоснованию долговременной безопасности, представлены в подразделах настоящей главы далее.

## **2.2. Критерии безопасности, расчетные величины и критическая группа населения**

В соответствии с требованиями [19, 52] любая деятельность в области использования атомной энергии должна выполняться с учетом необходимости защиты человека и среды его обитания от вредных воздействий радиационных факторов. Исходя из данного основополагающего принципа, критериями безопасности ПХРО являются установленные в нормативных правовых актах количественные значения пределов воздействий. Они определяют: дозы облучения (при различных потенциальных путях воздействия, на различные органы и ткани, для различных категорий облучаемых лиц), допустимые уровни монофакторного воздействия: потоки частиц и излучений, содержание радионуклидов в различных средах и компонентах окружающей среды.

На основе указанных ограничений устанавливаются производные критерии безопасности: допустимые уровни активности, пределы годового поступления и уровни вмешательства (содержание радионуклидов в различных средах), нормативы выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух и сбросов в водные объекты. Контрольные уровни воздействий устанавливаются и для персонала, и для населения.

Уровни вмешательства установлены в НРБ-99/2009 [37]. Нормативы допустимых выбросов и сбросов радиоактивных веществ разрабатываются эксплуатирующей организацией и устанавливаются разрешением на выбросы и (или) разрешением на сбросы при наличии их утверждения в установленном порядке с Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор).

Согласно действующей редакции НП-055-14 [30] ПЗРО (ПГЗ ЖРО) удовлетворяет требованиям безопасности в период после его закрытия, если при нормальном (эволюционном) протекании естественных процессов в районе размещения ПЗРО (ПГЗ ЖРО) (вероятных сценариях эволюции системы захоронения РАО) предусмотренная в проекте ПЗРО (ПГЗ ЖРО) система барьеров безопасности обеспечивает прогнозируемое радиаци-

онное воздействие на население за счет захораниваемых РАО не более 0,3 от основного предела дозы облучения населения, установленного в соответствии с законодательством Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности. При прогнозировании радиационного воздействия на население должен учитываться вклад всех систем размещения (захоронения) РАО, оказывающих влияние на радиационное воздействие на население. Целевым ориентиром безопасности ПЗРО (ПГЗ ЖРО) в период после его закрытия при маловероятных, в том числе катастрофических, внешних воздействиях природного и техногенного характера в районе размещения ПЗРО (ПГЗ ЖРО) (маловероятных сценариях эволюции системы захоронения РАО) является обеспечение прогнозируемого радиационного воздействия на население за счет захораниваемых РАО не более основного предела дозы облучения населения, установленного в соответствии с законодательством Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности.

Вариант миграции радионуклидов с потоком подземных вод по международному консенсусу считается вызывающим наибольшие риски радиационного воздействия на окружающую среду и население. Так как миграция радионуклидов процесс динамический, то содержание радионуклидов в окружающей среде меняется во времени и зависит от различных факторов (химического и радионуклидного состава РАО, их начального содержания в источнике, свойств инженерных барьеров и геологической среды, гидрогеологических условий и др.). Вместе с тем особенностью радиоактивного загрязнения является радиоактивный распад, в результате чего имеет место неоднородность пиковой активности различных радионуклидов при распространении в окружающей среде, поэтому при выполнении оценки долговременной безопасности ПЗРО (в том числе ПХРО) оценка доз облучения выполняется для нескольких точек контроля/сценариев облучения (например, в 50 м от источника РАО при использовании подземных вод из колодца для питья и полива небольшого фермерского хозяйства, в месте разгрузки подземных вод в ближайший водоток/водоем при использовании воды при водоснабжении и/или в рекреационных целях) и нескольких временных интервалов внутри расчетного срока, на который выполняется оценка долговременной безопасности. Расчет доз облучения для населения выполняется по результатам прогнозных расчетов содержания радионуклидов в подземных водах, обусловленных миграцией в геологической среде.

При обосновании долговременной безопасности захоронения РАО «для каждого сценария эволюции ПЗРО должны быть определены соответствующие сценарии облучения населения и критические группы населения в рассматриваемый период времени, механизмы облучения населения» [36]. Отметим, что безопасность захоронения РАО должна быть обеспечена на весь период потенциальной опасности РАО [13, 30]. Оценка доз облучения для критических групп населения предполагает поступление радионуклидов в окружающую среду из объекта.

В НРБ-99/2009 [37] под критической понимается «группа лиц из населения (не менее 10 чел.), однородная по одному или нескольким признакам – полу, возрасту, социальным или профессиональным условиям, месту проживания, рациону питания, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию по данному пути облучения от данного источника излучения». Санитарные нормативы, такие как допустимая объемная активность в воздухе, пределы годового поступления с воздухом и пищей, а также дозовые коэффициенты установлены для радионуклидов, для которых определены критические группы населения с разбиением на 6 возрастных групп. В Комментариях к Нормам радиационной безопасности [53] отмечается, что при формировании данных о поступлении радионуклидов с пищевыми продуктами в качестве критической принимается группа, для которой дозовый коэффициент максимален, а при поступлении с воздухом учитывается характерный для различных возрастных групп годовой объем вдыхаемого воздуха. Вместе с тем, необходимо учитывать, что радиационное воздействие на человека от ПЗРО может продолжаться в течение всей его жизни от рождения до самой смерти. В этих случаях возникает необходимость учета дозы за жизнь (№ 3-ФЗ [52]).

При проведении расчётного обоснования долговременной радиационной безопасности ПЗРО, а также при обосновании отнесения РАО к особым или удаляемым РАО, концепция выбора критической группы обуславливает получение максимально возможных годовых доз облучения среди всего населения. При многофакторном воздействии соблюдение нормативов дозовых нагрузок при консервативном применении ко всему населению коэффициентов для критической группы гарантировано обеспечивает соответствие требованиям НРБ-99/2009. Но для оценки дозы за жизнь должно использоваться концепцию референтного человека, который прожил всю жизнь под влиянием рассматриваемого радиационного фактора. В этом случае помимо дозы за жизнь целесообразно использовать оценку риска для референтного человека.

Отметим, что в случае глубинного захоронения РАО (ФГУП «ГХК», АО «ГНЦ НИИАР», АО «СХК») рекомендуется следовать рекомендациям Ростехнадзора, изложенных в Руководстве РБ-003-21 [54]. Критическую группу населения рекомендуется определять с учетом условий формирования дозы по всем возможным путям внешнего и внутреннего облучения для каждого сценария эволюции, демографических условий размещения ПЗРО, в том числе расположения населенных пунктов, численности, плотности размещения и половозрастной структуры населения, особенностей образа жизни и рациона питания, структуры природопользования, водопотребления и водоснабжения, типичных для данной местности биоценозов.

Критическая группа населения выбирается из лиц, проживающих в ближайшем к ПЗРО населенном пункте, на основе анализа и выявления критического пути, через который радионуклиды из рассматриваемого объекта достигают этой группы населения. Для получения консервативных оценок может быть сделано предположение о появлении населенных пунктов и ведении хозяйственной деятельности в «контрольных точках»: например, на границе СЗЗ предприятия или территории самого объекта, в районе выхода загрязнённых грунтовых вод на поверхность и т. д.

Поступление радионуклидов в среду обитания критической группы населения происходит в результате хозяйственно-бытового водопотребления из источника водоснабжения (водозабора), загрязненного радионуклидами, вышедшими из системы размещения РАО. Отметим, что радиационное воздействие различается в случае водопотребления из колодца (или скважины), где отсутствует разбавление, и из поверхностных водотоков и водоемов.

Для выбранной группы разрабатывается сценарий водопользования и, в частности, ведения сельскохозяйственной (фермерской) деятельности [55]. Зачастую в этом сценарии может быть сделано допущение, что после окончания периода административного контроля (как правило, 300 лет) в районе размещения рассматриваемого объекта возможно появление наделов сельскохозяйственных угодий.

В результате поступления радионуклидов в среду обитания человека формирование дозы облучения населения происходит по прямым и непрямым путям воздействия (рисунок 2.2). К прямым путям облучения относятся: внешнее облучение за счёт содержащихся в почве и воде радионуклидов и внутреннее облучение, обусловленное радионуклидами, поступившими в организм с питьевой водой и вдыхаемым воздухом. Доза облучения в этом случае зависит от места и длительности нахождения человека на местности. К непрямым пути воздействия относится внутреннее облучение от радионуклидов, попавших в организм вследствие их миграции по пищевым и биологическим цепочкам. Доза облучения населения по пероральному пути облучения формируется, в основном, за счет потребления питьевой воды, местных растительных и мясомолочных пищевых продуктов, а также рыбы, вылавливаемой из поверхностных водоемов, в которые происходит разгрузка подземных вод.



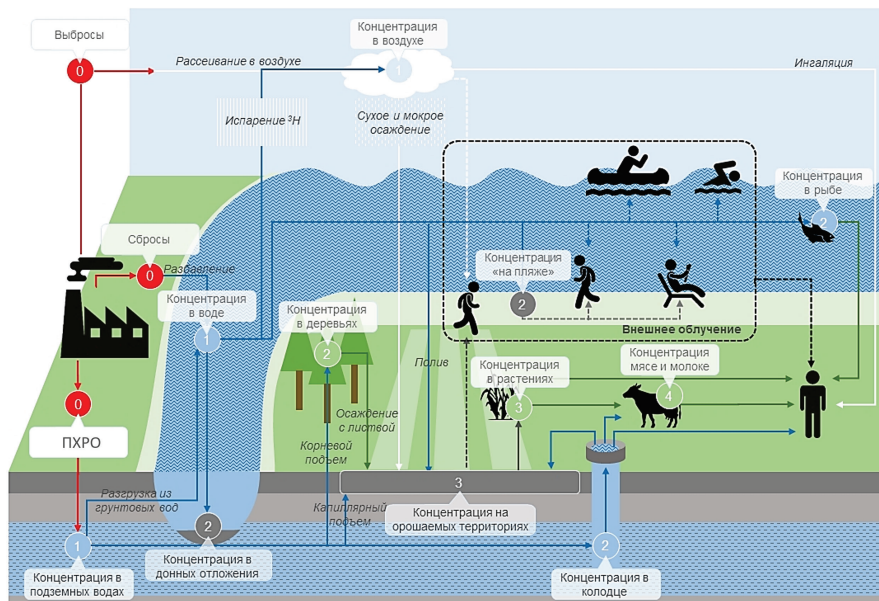


Рисунок 2.2 – Основные пути облучения критической группы населения

Водоснабжение предполагает потребление воды исключительно из колодца, тем самым формируя полную пищевую корзину, состоящую из растительной и животной продукции. Кроме того, эта же вода идет на полив огородных (в том числе частично для картофеля) и зерновых культур, пастбищ для выпаса скота. Например, для получения консервативной оценки доз облучения критической группы населения (в том числе в рамках обоснования отнесения РАО к особым или удаляемым РАО), могут быть сделаны предположения о ведении многопольной системы земледелия, непрерывном многолетнем использовании одних и тех же участков земли под выращивание сельскохозяйственных культур, выпас и корм скота, а также регулярном поливе из одного источника водопользования (предельный случай водопользования).

Оценка дозы внешнего облучения человека за счет длительного загрязнения почвенного покрова радионуклидами может быть выполнена с использованием дозовых коэффициентов, взятых из Руководства «External exposure to radionuclides in air, water, and soil» [56]. Для обоснования отнесения РАО к особым или удаляемым РАО значение коэффициента защищенности (ослабление внешнего облучения) референтного человека за счет пребывания в зданиях и постройках рекомендуется выбирать из консервативных предположений. Плотность загрязнения территории и распределение радионуклидов по глубине могут быть выбраны в соответствии с плотностью загрязнения орошаемых участков (огородов). Период продолжительности полива и орошения может быть выбран в соответствии с расчетным периодом. Отметим, что за продолжительный период времени, для которого проводится обоснование долговременной безопасности пунктов хранения особых РАО и ПЗРО трудно представить сохранение неизменными всех условий водопользования, даже сама сохранность водоема/источника водоснабжения в неизменных параметрах представляется весьма проблематичной. Однако для целей сравнения разных вариантов обращения с РАО, в том числе в рамках обоснования отнесения РАО к особым РАО, такой прием представляется допустимым.

Для оценки перехода радионуклидов в растительную и мясомолочную продукцию и доз облучения человека может быть использована методика МАГАТЭ (в том числе и рекомендуемые в ней равновесные коэффициенты перехода и дозовые коэффициенты) [57]. В случае отсутствия какого-либо параметра для отдельного изотопа могут быть использованы данные из баз данных «RESRAD», «Pathway» и др. [58]. Также при оценке содержания радионуклидов в продуктах питания должны быть учтены характеристики ведения сельского хозяйства для рассматриваемого региона, особенности биоаккумуляции элементов в растительности и, как следствие, специфика динамики загрязнения поверхностного слоя почвы, обусловленная биологическим и иным выносом, а также радиоактивным распадом радионуклидов.

Значение индивидуальной годовой эффективной дозы внутреннего облучения критической группы населения за счет присутствия радионуклидов в продуктах питания и питьевой воде зависит от годового рациона питания населения и водопотребления, содержания радионуклидов в компонентах рациона питания и воде источников питьевого водоснабжения.

При отсутствии данных о рационе питания и годовом потреблении продуктов питания и питьевой воды расчеты допускается проводить исходя из данных по стандартному рациону питания, характерному для населения региона, и годовому потреблению питьевой воды 730 л/год. Ориентировочная информация по рациону питания взрослого населения Российской Федерации по данным Росстата приведена в [59].

Рассмотрим в качестве примера определение критической группы населения при формировании ингаляционной дозы. Ниже представлен пример для содержания в воздухе таких радионуклидов, как  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ . В НРБ-99/2009 к критической группе населения при поступлении с воздухом  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  относятся лица в возрасте 12–17 лет, а для  $^{232}\text{Th}$  – лица старше 17 лет (взрослые) [37]. Если использовать значения дозовых коэффициентов ( $\epsilon_r$ ), рекомендованные Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) для разных возрастных групп [48], и рекомендуемые в НРБ-99/2009 значения скорости легочной вентиляции ( $V$ ) то выбор критической группы можно осуществить, исходя из максимального значения произведения  $V \cdot \epsilon_r$  (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Параметры расчёта доз от ингаляционного поступления радионуклидов (цветом помечены критические группы для отдельных радионуклидов)

Параметр	Нуклид	Возрастная группа				
		1-2	2-7	7-12	12-17	взрослые
Скорость дыхания, м <sup>3</sup> /год		1900	3200	5200	7300	8100
Дозовые коэфф, Зв/Бк	$^{210}\text{Pb}$	$1,80 \cdot 10^{-5}$	$1,10 \cdot 10^{-5}$	$7,20 \cdot 10^{-6}$	$5,90 \cdot 10^{-6}$	$5,60 \cdot 10^{-6}$
	$^{210}\text{Po}$	$1,40 \cdot 10^{-5}$	$8,60 \cdot 10^{-6}$	$5,90 \cdot 10^{-6}$	$5,10 \cdot 10^{-6}$	$4,30 \cdot 10^{-6}$
	$^{226}\text{Ra}$	$2,90 \cdot 10^{-3}$	$1,90 \cdot 10^{-3}$	$1,20 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$9,50 \cdot 10^{-6}$
	$^{232}\text{Th}$	$5,00 \cdot 10^{-5}$	$3,70 \cdot 10^{-5}$	$2,60 \cdot 10^{-5}$	$2,50 \cdot 10^{-5}$	$2,50 \cdot 10^{-5}$
$V \cdot \epsilon_r$ , Зв·м <sup>3</sup> /(Бк·год)	$^{210}\text{Pb}$	0,034	0,035	0,037	0,043	0,045
	$^{210}\text{Po}$	0,027	0,028	0,031	0,037	0,035
	$^{226}\text{Ra}$	0,055	0,061	0,062	0,073	0,077
	$^{232}\text{Th}$	0,095	0,118	0,135	0,183	0,203

В этом случае для трех радионуклидов критической группой будет взрослое население, а для  $^{210}\text{Po}$  – лица в возрасте 12–17 лет, однако разница в полученных коэффициентах всё же незначительна.

Для сценариев непреднамеренного вторжения человека в систему захоронения РАО в качестве критической группы лиц, подвергающихся наибольшему облучению, могут рассматриваться рабочие, проводящие буровые/земляные работы в районе расположения или непосредственно на площадке ПХРО в период после снятия административного контроля.

## 2.3. Процессы, явления и факторы, важные для оценки долговременной безопасности

### 2.3.1. Сценарии как инструмент анализа важных для оценки долговременной безопасности факторов

Разработка сценариев является одной из неотъемлемых компонент обоснования долговременной безопасности по ряду причин:

- сценарии лежат в основе выполняемых оценок безопасности, невозможно выполнить оценку долговременного функционирования ПЗРО, не учитывая условия на площадке его сооружения в будущем;
- от рассматриваемых сценариев зависит то, какие модели будут разрабатываться и какие для этого понадобятся данные;
- сценарии делают возможным диалог между исследователями-разработчиками оценки долговременной безопасности, проектировщиками ПЗРО, регулирующими органами и другими заинтересованными сторонами;
- сценарии являются важным звеном в процессе формирования доверия к численным оценкам безопасности и часто оказываются в фокусе при проведении экспертизы обоснования безопасности.

На рисунке 2.3 схематично проиллюстрирована роль сценариев для систематизации используемых в оценке долговременной безопасности моделей и получаемых с их помощью прогнозных оценок воздействия.

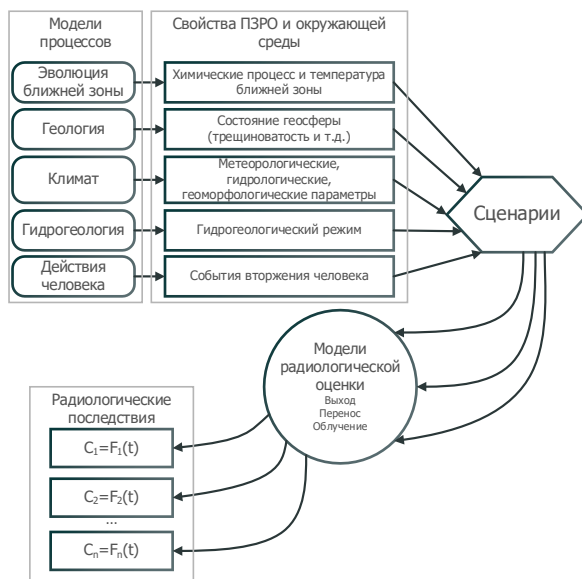


Рисунок 2.3 – Сценарии как инструмент систематизации моделей в процессе оценки долговременной безопасности

Перед описанием подходов к формированию сценариев остановимся на необходимой для их понимания терминологии. Слово "сценарий" используется очень часто и совершенно в различных контекстах [48]. В контексте обоснования безопасности принято использовать определение, введенное в [60]:

*Сценарий – это предполагаемая последовательность процессов и событий, демонстрирующая возможные будущие состояния и эволюцию системы захоронения для целей оценки безопасности.*

Общим элементом различных подходов к разработке сценариев является исходное составление всеобъемлющего списка *процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения, которые потенциально прямо или косвенно могут влиять на систему захоронения и перенос радионуклидов в окружающую среду и среду обитания человека.* В иностранной терминологии синонимом понятия «процессы, явления и факторы» является термин «Features, Events and Processes», перевод которого «особенности, события и процессы» (ОСП) имеет широкое распространение в российской литературе по оценке и обоснованию долговременной безопасности.

Перечень ОСП составляется на основе описания системы захоронения и представления о ее возможных изменениях в будущем в результате естественного протекания процессов внутри системы захоронения и в результате внешних воздействий природного и техногенного происхождения.

Как правило, для оценки безопасности разрабатывается один *основной сценарий*, а затем он дополняется *альтернативными* для анализа влияния неопределенностей, связанных с невозможностью однозначно предсказать ОСП в будущем. Однако такой подход является не вполне корректным. Согласно современным представлениям и нормативным требованиям к выполнению оценки долговременной безопасности рекомендуется определить конечный перечень сценариев эволюции системы захоронения РАО (базовые сценарии), которые в совокупности позволят учесть основные наиболее вероятные особенности возможной эволюции ПЗРО и процессы, определяющие его радиационное воздействие на человека и окружающую среду.

Современный подход предполагает, что все рассматриваемые сценарии, не принятые в качестве базовых, относятся к альтернативным сценариям. В действительности, граница между базовыми и альтернативными сценариями довольно призрачна. Альтернативные сценарии представляют собой попытку опровержения концептуальных моделей базовых сценариев. Вместе с тем в зависимости от варианта конечного состояния объекта, сценарий эволюции может быть в разной степени вероятен, а, следовательно, рассматриваться как базовый или как альтернативный.

В качестве термина для основного сценария в разных работах встречаются такие термины, как: «*эталонный*» («*reference*»), «*базовый*» («*base case*»), «*проектный*» («*design*»), «*центральный*» («*central*»), «*сценарий нормальной эволюции*» («*normal evolution*»).

Аналогично, в дополнение к термину «*альтернативный*» («*alternative*») встречаются названия «*сценарий измененной эволюции*» («*altered evolution*») и «*ухудшенной эволюции*» («*deteriorated evolution*»).

Дополнительно к рассмотрению базовых и альтернативных сценариев, рассматриваются сценарии «что, если», в основе которых лежит предположение об отказе (исчезновении из рассмотрения) одного из инженерных барьеров безопасности без рассмотрения причины такого события.

### **2.3.2. Формирование сценариев**

Разработка сценариев является инструментом учета неопределенностей, связанных с будущей эволюцией системы захоронения. Поэтому системный подход к разработке сценариев необходим как формальная база для проверки логики основных допущений, принятых в ходе оценки безопасности, и демонстрации того, что учтены все потенциально значимые для безопасности факторы и все их комбинации, которые могут привести к количественно отличающимся результатам.

Существуют различные подходы к разработке сценариев, среди которых сложно назвать единственный самый правильный, т.к. универсального метода, позволяющего создать абсолютно полный набор сценариев, не существует. Тем не менее, в большинстве

случаев заключения, полученные в результате применения различных подходов, оказываются довольно схожими. Результатом полноценного анализа является набор из нескольких сценариев, охватывающих большинство значимых с точки зрения потенциального воздействия вариантов. При отборе сценариев необходимо стремиться к тому, чтобы отразить полную картину, в этом контексте основными требованиями к подходам разработки сценариев являются:

- прозрачность, включая план документирования и обработки экспертных мнений;
- полнота рассмотрения всех факторов, которые могут оказать влияние на систему захоронения и выход радионуклидов;
- описание всех потенциальных изменений в будущем;
- идентификация критических для безопасности вопросов;
- наличие анализа робастности системы.

Большинство подходов к разработке сценариев включают следующие элементы: идентификация факторов (ОСП), потенциально влияющих на эволюцию и безопасность рассматриваемого объекта; классификация ОСП; скрининг (отсев) ОСП; комбинация оставшихся ОСП в сценарии; и отсев сценариев для создания окончательного комплекта сценариев для рассмотрения в процессе оценки безопасности.

#### *Идентификация ОСП*

Для того, чтобы последующий анализ сценариев был обоснован, а получаемые оценки безопасности могли считаться достоверными, перечень ОСП должен быть всеобъемлющим, прозрачным и хорошо задокументированным. Поэтому на шаге идентификации ОСП необходимо включить все факторы, которые прямо или косвенно могут повлиять на безопасность системы захоронения, чтобы не пропустить никакие потенциально взаимодействующие факторы.

В силу трудоемкости разработки полного перечня ОСП для конкретного объекта с нуля, в международных рекомендациях довольно часто используются «общие» списки ОСП, обобщающие разнообразие рассмотренных факторов для подобных объектов. Но даже в этом случае отдельный шаг «идентификации ОСП» бывает необходим. Например, на этом шаге могут быть совмещены несколько широко используемых списков ОСП или общепринятый перечень ОСП может быть преобразован и дополнен для учета каких-либо специфических для данного объекта явлений.

Наиболее проработанным является международная база ОСП для пунктов захоронения высокоактивных отходов, собранная на основе анализа перечней ОСП ряда стран [61] и несколько раз пересматривавшаяся по результатам применения в новых проектах. Также разрабатывались отдельные перечни ОСП для ППЗРО [62] и ПГЗ ЖРО [63].

#### *Классификация ОСП*

Классификация ОСП является одним из основных инструментов для демонстрации полноты перечня рассматриваемых факторов. В случае использования готового (например, общепринятого для такого типа объектов) списка ОСП, работа по формированию перечня факторов и поиску наиболее подходящего способа их классификации уже выполнена ранее (рисунок 2.4).

Тем не менее, как и в случае шага идентификации, отдельный шаг классификации ОСП в рамках конкретного проекта может быть также существенным. В каких-то случаях использование нескольких взаимодополняющих классификаций может оказаться эффективным способом демонстрации полноты осуществляемых оценок безопасности. Ниже приведены некоторые из признаков, разделение ОСП по которым может быть полезным:

- *Временной масштаб*: классификация факторов по интервалам времени, в течение которых происходят те или иные явления, полезна при подготовке к скринингу, а также для обоснования уровня детализации при моделировании явления. Кроме того, классификация по временным масштабам позволяет идентифицировать процессы, которые происходят одновременно, и вероятности и последствия которых можно сопоставить.



Рисунок 2.4 – Классификации ОСП для ПГЗРО (различие версий 2000 и 2019 года)

– *Пространственные зоны (ближняя зона – геосфера – биосфера)*: удобный способ классификации факторов по отношению к миграции подземных вод. Обычно система захоронения разделяется на ближнюю зону, геосферу и биосферу, для описания явлений, в которых часто используются различные модели. Поэтому, например, выборка ОСП, влияющих преимущественно на ближнюю зону, будет важным вкладом при выборе и построении соответствующей модели. Важно помнить, что некоторые процессы относятся к границам раздела между ближней зоной и геосферой, геосферой и биосферой, соответственно, эти границы также необходимо включать в классификацию.

– *Вероятность/правдоподобие и последствия*: Классификация по отношению к вероятности и последствиям предоставляет основание для дальнейшей интерпретации ОСП в процессе оценки. Например, для учета факторов, реализуемых с высокой вероятностью и значительными последствиями, потребуется предусмотреть дополнительные меры безопасности в конструкции ПЗРО. Напротив, интерпретация ОСП с незначительными последствиями и малой вероятностью может быть ограничена качественным анализом.

– *Научные дисциплины*: классификация по научным дисциплинам необходима для планирования вовлечения различных экспертов для дальнейшей интерпретации и принятия решений о фактической важности различных типов моделей.

– *Среда переноса радионуклидов*: наиболее часто и подробно рассматривается перенос в подземных водах, который в свою очередь может подразделяться на перенос растворенного вещества, перенос коллоидов и т.д. Также в определенных случаях может потребоваться рассмотрение газообразования или эрозии как механизмов переноса. Деятельность животных и растений может служить механизмами переноса в биосфере.

– *Прямой и косвенный выход в биосферу*: это разделение связано с различиями между событиями вмешательства человека и естественной деградацией инженерных барьеров. В случае вмешательства распространение радионуклидов минует стадию миграции с подземными водами в геосфере. Этот аспект особенно важен для ППЗРО.

– *Выход – миграция – облучение*: еще один способ разделения списка ОСП по группам в соответствии с различными типами явлений.

#### Скрининг ОСП

Результатом стадий идентификации и классификации является отсортированный перечень, состоящий из большого количества ОСП, которые потенциально могут влиять на систему захоронения. Для уменьшения количества факторов, которые в последующем потребуются детально анализировать, этот перечень ОСП подвергается скринингу (выборке, отсеву) на основе хорошо обоснованных и задокументированных критериев. В качестве таких критериев могут выступать:

- информация из контекста оценки (например, рассматриваемые временные масштабы или группы населения) и описания системы захоронения (отсутствие каких-либо элементов системы и соответствующих им процессов);
- вероятность/правдоподобие возникновения фактора;
- последовательность возникновения факторов;
- допущения, принятые в процессе оценки.

Очень важно, чтобы соблюдалась прозрачность процесса скрининга, т.е. основания для отсева того или иного ОСП должны также быть задокументированы и доступны для всех заинтересованных сторон.

На этой стадии следует избегать детального анализа последствий, так как такой анализ должен выполняться как часть последующего этапа в процессе оценки. Тем не менее, для облегчения процесса отсева и отсева ОСП, бывает полезно разработать начальное концептуальное понимание движения радионуклидов через систему захоронения. Это можно сделать в виде диаграммы (пример показан на рисунке 2.5) или в виде письменного описания. Также для хорошего обоснования скрининговых решений могут использоваться простые ограничивающие расчеты. Если подобные расчеты выполняются, все принятые допущения и использованные данные также должны быть описаны.

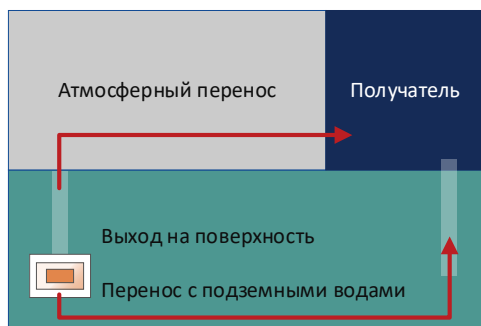


Рисунок 2.5 – Диаграмма движения радионуклидов в системе захоронения

Как правило, на этой стадии ОСП рассматриваются отдельно друг от друга, тем не менее, необходимо проверять возможность взаимодействия с другими факторами. Если есть какая-то неуверенность при отсеве конкретного фактора, то его следует оставить, так как всегда можно удалить на более поздней стадии разработки.

Перечень ОСП после скрининга должен состоять из факторов, признанных потенциально имеющими значение для безопасности данной системы захоронения.

#### *Комбинирование ОСП для формирования сценариев*

Исторически в силу отсутствия на тот момент явных требований к такому процессу формирования сценариев производилось на основе экспертных суждений. Команда разработчиков обоснования долговременной безопасности или внешние эксперты выбирали наиболее важные факторы и определяли оцениваемые индикаторы безопасности, не пытаясь системно идентифицировать и исследовать все явления и условия.

Также в ряде проектов [64, 65] предпринимались попытки адаптировать для подкрепления экспертного анализа сценариев методы вероятностного анализа безопасности (анализ деревьев событий) [66], которые широко используются для анализа аварий по причине отказов систем и оборудования ОИАЭ. Несмотря на очевидную привлекательность такого подхода, на практике оказалось, что его применимость к обоснованию долговременной безопасности несколько затруднительна в силу нескольких факторов. Во-первых, процессы, которые влияют на захоронение отходов, протекают достаточно

медленно и большинство из них трудно задать как отдельные события. Во-вторых, анализ деревьев не подходит для интерпретации взаимодействия между событиями. В-третьих, для анализа деревьев событий система разбивается на более мелкие части, которые можно оценить количественно по отдельности, что создает искусственные разграничения между ОСП, тогда как целью является оценка поведения системы в целом. В-четвертых, при описании системы с достаточным уровнем детализации, количество комбинаций, созданных на дереве событий, очень быстро становится трудноразрешимым.

Поэтому постепенно развивались специфичные для задач обоснования долговременной безопасности методы системного анализа ОСП. В различных проектах был разработан ряд подходов анализа факторов, которые влияют на функционирование ПЗРО. Все они направлены на удовлетворение двух основных требований: системного выявления всех возможных сочетаний ОСП, которые могут повлиять на функционирование системы захоронения, и прозрачности решений, принятых в ходе разработки сценариев.

#### *Отсев сценариев*

Завершающей стадией процесса разработки сценариев является еще один шаг выбраковки – но уже не отдельных факторов, а сценариев целиком. Выбранные сценарии должны соответствовать контексту оценки и описанию системы и формировать комплексную картину системы захоронения в целом и возможные пути ее эволюции. Поэтому для отсева используются критерии, аналогичные используемым при скрининге отдельных ОСП (т. е. контекст оценки, описание системы захоронения, вероятность происшествия, последствия происшествия и первоначальные допущения). Здесь также важны прозрачность и документирование используемых аргументов и принятых решений об исключении из рассмотрения того или иного сценария.

### **2.3.3. Примеры практической реализации перехода от перечня ОСП к набору сценариев**

Самый нетривиальный элемент процесса разработки сценариев – это комбинирование отобранных факторов в сценарии.

Чаще всего эксперты начинают такую работу с базового сценария, который представляет ожидаемую эволюцию системы в соответствии с запланированными в проекте характеристиками (рисунок 2.6). Это делается потому, что если проектный сценарий дает неприемлемые результаты, то ПЗРО данной конструкции не может разрабатываться, и нужно пересматривать описание системы. Для базового сценария определяются значимые внешние факторы (сценариегенерирующие ОСП), идентифицируются релевантные для безопасности характеристики и соответствующие функции безопасности элементов системы захоронения. Затем перечень ОСП пересматривается повторно, и выделяются сценариеобразующие факторы и соответствующие функции безопасности для альтернативных вариантов эволюции системы.

Основной недостаток подхода, проиллюстрированного на рисунке 2.6 – это сложность в формализации (а значит и последующей экспертизе) необходимых и достаточных действий в процессе выбора сценариеобразующих факторов из довольно обширного перечня ОСП.

Поэтому в различных работах предлагались дополнительные способы продемонстрировать полноту и системность этого шага. Например, на рисунке 2.7 проиллюстрирован метод формализации получения сценариев на примере ПЗРО [67]. Он состоит в том, что для каждой группы факторов (связанных с инженерными барьерами, РАО вместе с упаковкой, а также надзора над площадкой захоронения) рассматривается три основных случая. В первом случае тот или иной элемент многобарьерной системы защиты функционирует без изменений и соответствует своему проектному состоянию на момент закрытия ПЗРО. Во втором случае функции безопасности выполняются только частично. И в последнем варианте соответствующая функция безопасности не выполняется вообще. Из сочетания данных состояний формируется набор сценариев.



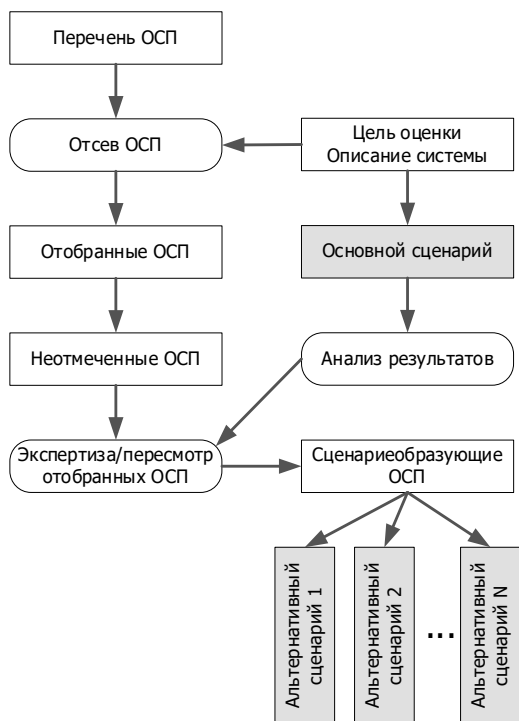


Рисунок 2.6 – Общая схема перехода от ОСП к набору сценариев

Основной недостаток подхода, проиллюстрированного на рисунке 2.6 – это сложность в формализации (а значит и последующей экспертизе) необходимых и достаточных действий в процессе выбора сценариеобразующих факторов из довольно обширного перечня ОСП.

Поэтому в различных работах предлагались дополнительные способы продемонстрировать полноту и системность этого шага. Например, на рисунке 2.7 проиллюстрирован метод формализации получения сценариев на примере ППЗРО [67]. Он состоит в том, что для каждой группы факторов (связанных с инженерными барьерами, РАО вместе с упаковкой, а также надзора над площадкой захоронения) рассматривается три основных случая. В первом случае тот или иной элемент многобарьерной системы защиты функционирует без изменений и соответствует своему проектному состоянию на момент закрытия ППЗРО. Во втором случае функция безопасности выполняются только частично. И в последнем варианте соответствующая функция безопасности не выполняется вообще. Из сочетания данных состояний формируется набор сценариев.

Еще один распространенный подход к систематизации ОСП и анализу сценариев – метод матриц взаимодействия (рисунок 2.8) [67-69]. В его основе лежит классификация факторов в терминах «источник» – «пути переноса» – «получатель». Для каждого сценария эксперты определяют источник радионуклидов, различные пути их миграции и конечную точку оценки (например, группы населения, для которых оценивается дозовая нагрузка). Элементы системы захоронения перечисляются в диагональных ячейках матрицы. В недиагональных ячейках описываются их возможные взаимодействия. Анализ релевантных факторов осуществляется сверху вниз, т. е. каждая из ячеек матрицы итеративно детализируется.

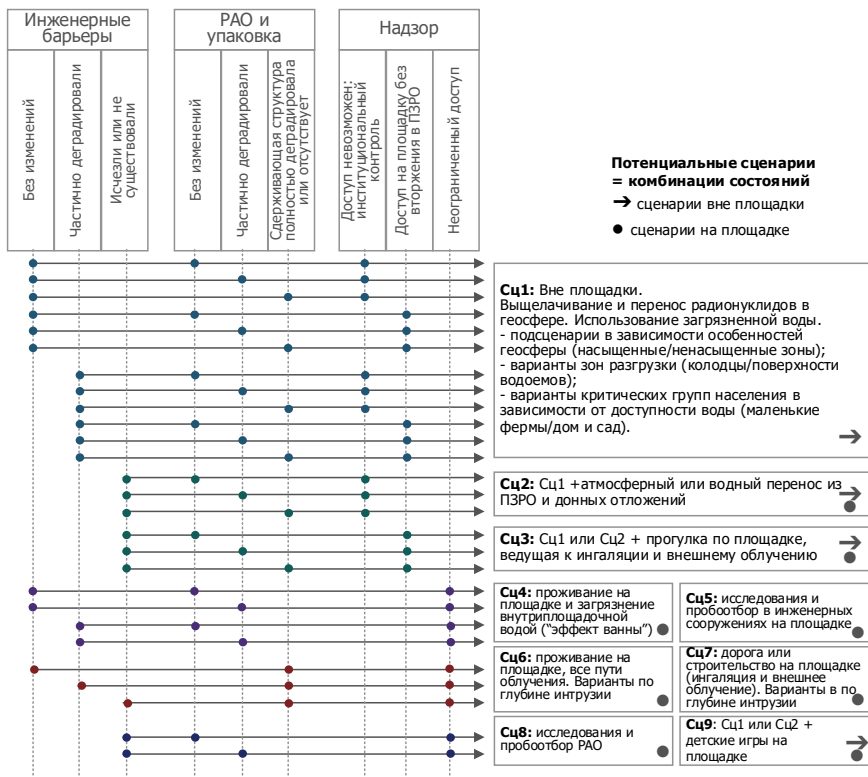


Рисунок 2.7 – Генерация сценариев методом комбинирования состояний

## 2.4 Характеристики ПХРО важные для обоснования долговременной безопасности

Информация о ПХРО для оценки долговременной безопасности должна обеспечить достоверное с научно-технической точки зрения описание самого объекта, размещенных РАО, природных систем на участке его размещения и демонстрацию понимания важных для безопасности процессов, явлений и факторов (относящихся к геологии, гидрологии, геохимии, метеорологии и т.д.), а также их пространственные и временные протяженности и изменчивости.

К важным для обеспечения долговременной безопасности ПХРО характеристикам относятся свойства размещенных РАО, объекта (инженерных барьеров безопасности), среды размещения (включая параметры ожидаемых внешних воздействий), параметризующие сценарии и модели, используемые для прогнозирования долговременной безопасности. К основным применяемым при прогнозировании моделям относятся:

- модели прогнозирования изменения свойств барьеров безопасности, с учетом их взаимного влияния;
- модели распространения (миграции) радионуклидов в материалах барьеров (включая геологическую среду), вызванных различными процессами переноса;
- модели дисперсии радионуклидного загрязнения в окружающей среде;
- модели потенциального облучения человека, с учетом различных возможных путей загрязнения и др.

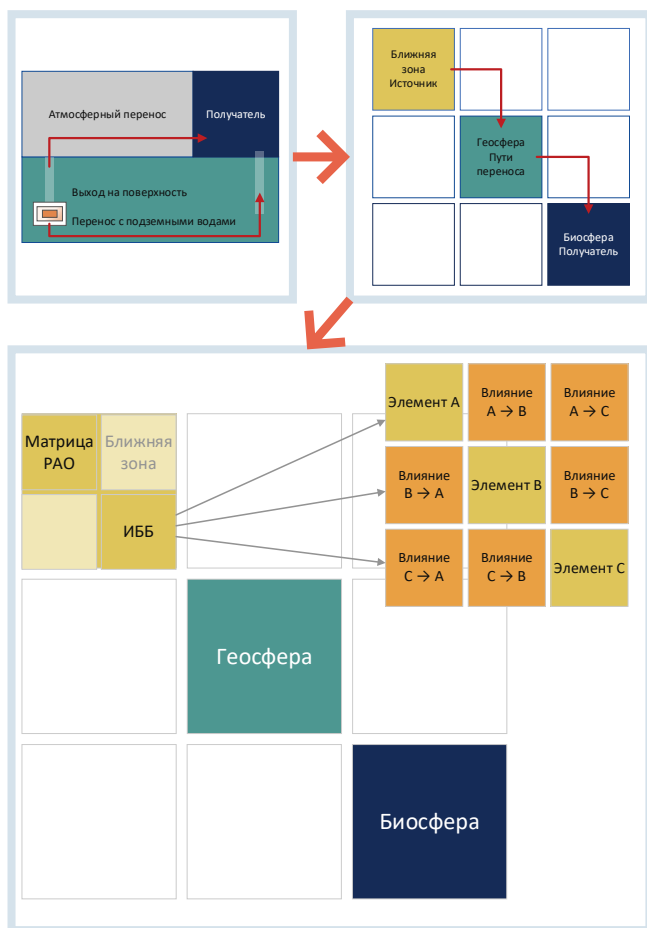


Рисунок 2.8 – Анализ сценариев методом матриц взаимодействия

Долговременная безопасность объекта захоронения в основном зависит от эффективности и особенностей реализации многобарьерной системы (в том числе конкретного места размещения захоронения, геологических условий на определенной глубине, особенностей инженерных и естественных барьеров), поэтому характеристики объекта должны включать качественное и количественное описание компонентов системы.

Кроме того, разброс значений характеристик, обеспечивающих расчетное прогнозирование долговременной безопасности, вызванный как их вариабельностью, так и точностью измерений, также существенно влияет на точность и достоверность результатов оценки безопасности.

В ходе обработки исходных данных для проведения оценки долговременной безопасности принято выполнять анализ их неопределенности за счет неточности измерений и/или методик их оценки и/или прогнозирования, а также концептуальной неопределенности, связанной с неполнотой знаний.

Важные для прогнозирования безопасности параметры означенных выше моделей, с учетом необходимости их долгосрочного прогнозирования, могут быть условно разделены на следующие группы:

- известные «справочные» свойства материалов;
- непосредственно определяемые параметры (лабораторно и натурно);
- прогнозируемые с использованием специальных опытов, в том числе с использованием радиоактивных изотопов (например, параметры физико-химических взаимодействий);
- прогнозируемые с использованием вспомогательных моделей (например, изменение климата, смерчопасность, максимальное расчетное землетрясение, параметры геотектоники и др.);
- заранее не определенные, прогнозируемые с использованием консервативных подходов (например, изменение характера землепользования, особенностей поведения человека, пищевых предпочтений и др.).

Очевидно, что одни параметры представляют собой конкретные значения (с неопределенностью их измерения или прогнозирования), тогда как другие обладают ярко выраженной пространственной и/или временной изменчивостью. Для уточнения пространственно-изменчивых параметров применяют специальные (как правило натурные) изыскания и исследования, которые обеспечивают надежность оценок долговременной безопасности.

В каждом конкретном случае набор важных – определяющих долговременную безопасность ПХРО/ ПЗРО – параметров может быть различен, однако опыт проведения подобных работ показывает, что основным (сохраняющими важность вне зависимости от других условий) являются:

- характеристики РАО (радионуклидный, химический, морфологический состав);
- период сохранения инженерными барьерами своих функций с учетом прогнозов их взаимного влияния, и влияния внешней среды;
- значения фильтрационных и миграционных параметров инженерных барьеров, прогнозируемая динамика их изменения;
- период прогнозируемого сохранения административного контроля над площадкой;
- значения фильтрационных параметров, скорость и направление (траектории движения) подземных вод на участке размещения, прогноз их изменения при изменении климата или развитии потенциально негативных процессов;
- значения миграционных параметров при распространении радионуклидов с подземными водами в геологической среде (параметров физико-химических взаимодействий в системе «радионуклиды»-«подземные воды»-«вмещающие горные породы»);
- параметры (частота и интенсивность) потенциально возможных внешних (смерч, землетрясение и т. д.) и внутренних (карстообразование, эрозия и др.) процессов.

Следует еще раз отметить, что полный перечень важных для безопасности ПХРО характеристик зависит и от самого объекта, и от применяемых моделей (степени их консерватизма) и, как следствие, может насчитывать сотни различных по физическому смыслу параметров.

## 2.5 Гидрогеологические модели объекта

Подземные воды в большинстве сценариев являются основным агентом, с которым возможно распространение радионуклидного и химического загрязнения в геологической среде. В связи с этим прогнозные расчеты миграции загрязнения с потоком подземных вод являются ключевым этапом выполнения оценки долговременной безопасности.

Гидрогеологическая математическая модель – инструмент, позволяющий с необходимой степенью детализации описать геолого-гидрогеологические и техногенные условия территории и количественно охарактеризовать закономерности движения подземных вод в пределах моделируемой территории. Примеры высокоуровневых гидрогеологических моделей для объектов с радиационным и химическим загрязнением приведены в работах [70-72].

Сложившийся подход к прогнозным гидрогеологическим расчетам в рамках выполнения оценки долговременной безопасности заключается в последовательном решении задачи миграции загрязнения от источника – размещенных для захоронения РАО, через инженерные барьеры безопасности в окружающую геологическую среду. По результатам расчетов прогнозируется зона распространения загрязнения подземных вод, выявляются потенциальные зоны их разгрузки в поверхностные водоемы/водотоки, на основе которых в ходе дальнейших расчетов проводится оценка потенциального радиационного воздействия на человека.

В связи с разными ключевыми процессами в отдельных элементах объекта, их временными и пространственными масштабами целесообразно выделять отдельные модели источника загрязнения, ближней зоны и дальней зоны.

При моделировании источника загрязнения основными процессами являются выщелачивание, радиоактивный распад и химические взаимодействия. Гидрогеологические процессы (фильтрация, перенос с потоком подземных вод) являются определяющими уже для моделей ближней и дальней зон, но для ближней зоны существенную роль также играет эволюция инженерных барьеров безопасности, например, механическая и химическая деградация бетонных конструкций или нарушение целостности геомембраны. Модель ближней зоны играет роль источника для модели дальней зоны.

Для моделей ближней и дальней зон ПХРО необходима схематизация гидрогеологических условий, в рамках которой должны быть определены границы, параметры и начальные условия моделей. Границы модели ближней зоны определяются внешними границами инженерных барьеров безопасности и пород, нарушенных при строительстве или эксплуатации объекта. Граничные условия модели ближней зоны могут устанавливаться исходя из результатов расчетов на откалиброванной модели дальней зоны (например, расходы подземных вод) и природных условий (например, инфильтрационное питание).

Размеры моделируемой территории для дальней зоны (в плане и в разрезе) обосновываются для каждой решаемой задачи в зависимости от целей и требований к точности результатов расчетов. При этом основной сложностью является верный выбор (обоснование) типов, расположения и характеристик граничных условий модели. Граничные условия принципиальным образом влияют на реальную картину фильтрации, и в связи с этим не должны задаваться вблизи прогнозируемой области потенциального распространения загрязнения подземных вод. Область прогнозируемого загрязнения подземных вод в общем случае не должна достигать границ моделируемой территории (как в плане, так и в разрезе) за исключением случая, когда граница является источником потенциального поступления загрязнения в среду обитания человека. Поэтому обоснованные граничные условия могут быть достаточно удалены от источника загрязнения.

Дополнительной сложностью при обосновании граничных условий моделей является частое несовпадение типов граничных условий в разрезе (в различных модельных слоях). Например, урвненная поверхность грунтовых вод (первого от поверхности водоносного горизонта) в целом повторяет форму рельефа от водораздельных частей к водотокам/водоемам, в то время как нижележащая водоносная толща, особенно в условиях выдержанного разделяющего водоупора, зачастую имеет более общее региональное направление от источника питания подземных вод к региональным дренам.

В отдельных случаях имеется необходимость задавать граничные условия, изменяемые во времени и/или в модельном пространстве:

- снижение количества радионуклидов в источнике или изменение динамики их выхода за счет процессов выщелачивания, процессов естественного радиоактивного распада;
- деградация инженерных барьеров безопасности (например, коррозия металлоконструкций и бетонов), а впоследствии и самих РАО, при которой происходит изменение физико-химических свойств отдельных элементов системы;
- трансформация геологической среды в результате взаимодействия с подземными водами и загрязнением: растворение горных пород, осаждение с вторичным минералообразованием, приводящее к изменению активной пористости/трещиноватости (пустотности);

– естественные изменения, например, сезонное изменение количества атмосферных осадков, вызывает пропорциональное изменение инфильтрационного питания подземных вод, и, как следствие, может приводить к изменению направления движения подземных вод и даже характера питания и разгрузки подземных вод (поверхностные водоемы могут стать источниками питания подземных вод);

– нарушение структуры потока подземных вод в результате техногенной деятельности, не связанной с расчетным объектом, например, влияние золоотвала или крупного водозабора, способных изменить гидрогеологические условия не только на локальном участке, но и в регионе (присутствие крупного золоотвала на пути миграции загрязнения меняет траекторию естественного потока подземных вод, а длительный высокодебитный водоотбор в крупном населенном пункте приводит к значительному снижению уровня подземных вод, в результате чего интенсифицируются перетоки из вышележащих/нижележащих водоносных горизонтов, в том числе тех, которые могут быть подвержены загрязнению).

Несмотря на преимущественно приповерхностное расположение ПЗРО/ПХРО, загрязнение от источника может распространяться на значительную глубину в результате сложных закономерностей движения подземных вод, поэтому в результате прогнозных расчетов загрязнения не должно достигнуть нижнего модельного слоя, или должно быть обосновано, что не произойдет распространение загрязнения ниже области моделирования.

Значительные размеры области моделирования могут приводить к недостатку исходных данных для параметризации модели, а также к повышенной расчетной сложности (длительности расчета). Снижение расчетной сложности может выполняться путем разделения прогнозного решения на этапы, построения отдельных моделей (различных масштабов) для источника ближней, дальней зон, или применения моделей-врезок – построения локальной детальной модели внутри построенной региональной модели.

Вместе с тем в зависимости от этапа оценки долговременной безопасности, уровня знаний об объекте и имеющегося расчетного инструментария, при схематизации гидрогеологических условий территории может быть принято решение о представлении структуры потока в трехмерном виде (наиболее приближенном к реальным условиям) или в упрощенном до двухмерного (планового или профильного) или одномерного потока.

Принципиальное значение имеет информация, характеризующая источник радионуклидного загрязнения (зачастую информация является неполной или недостоверной), а также существующие инженерные барьеры безопасности, их состояние и свойства. Эти данные порой невозможно восполнить даже по результатам комплексных инженерно-радиационных обследований и результатам мониторинга состояния недр. Поэтому при параметризации источника и инженерных барьеров нередко применяют реалистически-консервативный подход, предполагая наибольшие значения объемов и активностей радионуклидов в составе отходов ПХРО и консервативно низкие изолирующие свойства инженерных барьеров безопасности.

Определение характеристик геологической среды, включая фильтрационные и миграционные свойства, ведется с большей точностью (по сравнению с характеристикой источника и инженерных барьеров пунктов хранения особых РАО), и не требует дополнительного консерватизма. По большинству объектов использования атомной энергии за годы эксплуатации накоплено большое количество результатов изысканий, выполненных как непосредственно на площадках ПХРО, так и по прилегающей территории.

Кроме этого, имеются значительные объемы данных, полученных по результатам мониторинга окружающей среды, радиационного контроля территории. Системы мониторинга на промплощадках организуют эксплуатирующие организации. По заказу Госкорпорации «Росатом» создана и функционирует отраслевая система объектного мониторинга состояния недр, который ведется силами ФГБУ «Гидроспецгеология» более чем на 50 предприятиях атомной отрасли уже более 10 лет. Полученные результаты позволяют не только оценивать текущее состояние недр и окружающей среды, но и являются достаточ-

но надежным источником данных для параметризации и верификации гидрогеологических моделей объектов.

Вместе с тем при выявлении недостаточности сведений о параметрах природно-техногенной среды, возможна организация результативных полевых изысканий и лабораторных исследований.

Обособленно выделяется проблема учета неопределенностей. Целью анализа неопределенностей является определение интервалов возможных значений расчетных величин (концентрации загрязнения, напора подземных вод, расхода фильтрационного потока), которые могут быть получены при вариации параметров модели в допустимых диапазонах. В процессе анализа неопределенностей обычно выполняется оценка чувствительности для ранжирования параметров модели в зависимости от степени их вклада в варибельность результата. Это позволяет выявить как наиболее сильно влияющие на неопределенность результата моделирования параметры, так и те, которые (практически) не оказывают на него влияния.

В результате проведения оценки чувствительности модели к ее параметрам могут выявиться проблемы, связанные с низкой чувствительностью ко всем параметрам модели или с низкой чувствительностью к параметрам, которые специалисты в предметной области модели считают существенными [73]. Это может быть связано как с некорректным определением начальных и граничных условий модели, так и с ошибками в ее реализации.

Калибровкой модели называют процесс решения обратной задачи: подбор значений свойств рассматриваемой системы, определяющих закономерности движения потоков подземных вод. В ходе решения обратной задачи уточняются значения параметров, заданных в модели, таких как величины коэффициентов фильтрации водовмещающих и разделяющих отложений, инфильтрационного питания подземных вод, отдельные миграционные параметры, например пористость, параметры физико-химических взаимодействий и др. Показателем качественной калибровки модели является максимальное совпадение натуральных замеров с результатами расчетов.

Выбор инструмента создания математических моделей (от простых известных аналитических решений до специализированных программных средств трехмерного моделирования геомиграции) может зависеть не только от количества исходных данных, но и от требуемого уровня детализации результатов расчета и его точности. Учет пространственной неоднородности геолого-гидрогеологических условий обосновывает необходимость применения трехмерного численного моделирования при выполнении прогнозных оценок.

В ранних работах по оценке безопасности ПЗРО/ПХРО часто используются средства камерного моделирования: программные средства MASCOT, AMBER, ECOLEGO и др. [74]. Их применение оправдано в условиях недостатка исходных данных, т. к. позволяет получить быстрые оценки, кроме того, эти программные средства чаще всего уже содержат в себе примитивные инструменты анализа чувствительности и неопределенности моделей. Среди основных недостатков этих программ следует выделить два: во-первых, потоки подземных вод должны быть рассчитаны сторонними средствами; во-вторых, в них осуществляется осреднение концентрации загрязнителя в объемах камер (зачастую весьма немалых), что приводит к потенциальному занижению пиков концентрации на порядки величин.

В настоящее время применение трехмерного численного математического моделирования является одним из основных инструментов изучения гидрогеологических процессов и повсеместно используется при решении научных и практических задач. В рамках выполнения оценки долговременной безопасности объектов использования атомной энергии прогнозные расчеты выполняются с применением специализированных программных средств, предназначенных для моделирования на долгосрочную перспективу всех значимых процессов, вариантов конструкций объектов и возможных изменений как самого объ-

екта (эволюция материалов и конструкций), так и климатических, геолого-гидрогеологических и других условий территории.

Согласно требованиям [19] программные средства, предназначенные для построения расчетных моделей процессов, влияющих на безопасность объектов использования атомной энергии, должны пройти экспертизу в организации научно-технической поддержки уполномоченного органа государственного регулирования.

Имеющиеся на сегодня программные средства [74] позволяют проводить полный цикл гидрогеологического моделирования: построение геологической модели, ее параметризацию и калибровку, непосредственно геофильтрационные и геомиграционные прогнозные расчеты, визуализацию и верификацию результатов моделирования для любого объекта.

Примером такого программного средства является расчетный код «GeRa» [74], в котором реализованы математические модели следующих физических и химических процессов:

- фильтрации в режимах различной насыщенности, включая двухфазную фильтрацию вода-воздух;
- переноса примесей по адвективно-диффузионно-дисперсионному механизму, в том числе, в средах с двойной пористостью;
- тепловыделения при радиоактивном распаде, теплоперенос;
- тепловой и плотностной конвекции;
- химических взаимодействий в системе вода-порода (реализованным с использованием модуля PHREEQC [75]);
- радиоактивного распада по цепочкам;
- поверхностного стока.

Результаты прогнозных расчетов миграции радионуклидов и, как следствие, эффективности инженерных и природных барьеров безопасности, являются основой для оценки долговременной безопасности. Результаты оценки долговременной безопасности позволяют обосновать необходимость и достаточность рассматриваемых технологических решений по объектам ПРОРАО, эффективность инженерных и/или природных барьеров безопасности и потребность в разработке комплекса мероприятий, при реализации которых радиационное воздействие на население и окружающую среду будет допустимым.

## **2.6 О роли нерадиационных характеристик РАО при захоронении радиоактивных отходов в месте их нахождения**

Одним из основных принципов единой государственной системы обращения с РАО является «приоритет охраны жизни и здоровья человека, настоящего и будущих поколений, окружающей среды от негативного воздействия РАО» [13]. Для соблюдения данного принципа должно быть обеспечено нераспространение в окружающей среде опасных компонентов (далее поллютантов) в течение всего периода потенциальной опасности отходов. Ключевые вопросы, которые следует учитывать на всех этапах жизненного цикла ПЗРО и ПХРО, а также при обосновании долговременной безопасности объектов, включают:

- устойчивость каскада составляющих системы многобарьерной защиты инженерных барьеров безопасности (ИББ), в том числе основания объекта, по отношению к внешним естественным процессам, таким как землетрясения, наводнения и эрозия;
- гидрологические, гидрогеологические и геохимические характеристики площадки размещения;
- химические и физические характеристики объекта в связи с потенциалом образования и переноса загрязняющих веществ;
- объем материала, который будет удерживаться на площадке в качестве отходов;
- использование нейтрализующих агентов, добавок, с учетом надежности и долговечности таких агентов;



- процессы эволюции размещенных материалов со временем, процессы их взаимодействия, сопровождающиеся изменением миграционных параметров целевых поллютантов;
- при размещении дополнительных отходов в существующие пункты размещения особых РАО, следует оценивать их влияние на существующий каскад системы ИББ, а также учитывать отсутствие отрицательного влияния на выход поллютантов за пределы системы.

Согласно п. 14 НП-103-17 [26] в пункт размещения особых РАО можно размещать РАО, образующиеся при:

- эксплуатации или ВЭ ОИАЭ, на котором образовались РАО, накопленные в ПРОРАО;
- эксплуатации ПРОРАО;
- выполнении работ по реализации проекта перевода ПРОРАО в пункт консервации особых РАО (ПКОРАО);
- проведении реабилитации площадки размещения ПРОРАО.

Вследствие пестроты генезиса такие объекты изначально могут содержать в себе разнообразные классы и типы веществ. Отметим, что безопасность такого размещения, в том числе долговременная, должна быть обоснована. Опасность для человека или окружающей среды, создаваемая ПЗРО, а также пунктами хранения особых РАО, может быть обусловлена не только их радиоактивностью, но в ряде случаев и присутствием в них токсичных химических веществ и других материалов.

### 2.6.1. Основные процессы, влияющие на перенос растворенных веществ

На рисунке 2.9 представлена схема распределения в подземном пространстве радионуклидов [76].

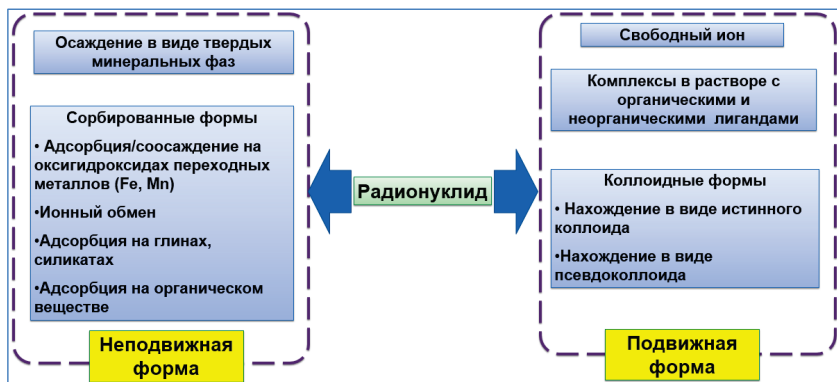


Рисунок 2.9 – Схема нахождения радионуклидов в подземном пространстве

Все возможные процессы переноса поллютантов из источника (ПЗРО, ПХРО) в окружающую среду условно можно разделить на:

- физические процессы,
- химические (физико-химические) процессы;
- биологические процессы [77].

Так, физические процессы приводят к изменению концентрации и перераспределению химических соединений в системах. Что же касается химических и особенно биологических процессов, то в результате их протекания изменяется не только концентрация, но и абсолютное количество химических компонентов в системе, по этой причине они являются часто определяющими в общем процессе формирования водного состава, а, следовательно, и параметров выхода поллютантов из источника.

При оценке этих воздействий на окружающую среду следует учитывать различные процессы, начиная от сорбции, заканчивая учетом биологических процессов:

- растворение и образование неорганических малорастворимых соединений - карбонатов, гидроксидов, фосфатов, различных минералов сложного состава и т. п.;
- кислотно-основные взаимодействия с участием неорганических (карбонаты, фосфаты, гидроксиды) и органических (окси- и оксикарбоновые кислоты, гумусовые вещества и др.) соединений;
- окислительно-восстановительные реакции, приводящие к изменению степени окисления элементов;
- комплексообразование металлов с неорганическими и органическими лигандами;
- распределение неорганических и органических соединений между жидкой и твердой (взвеси, коллоиды) фазами в результате адсорбции и ионного обмена.

Сорбция радионуклидов и других неорганических поллютантов зависит от кислотности среды. Вследствие того, что природные сорбционные фазы в околонейтральных и щелочных условиях в основном заряжены отрицательно, эффективность сорбции для положительно заряженных частиц растет с ростом pH. А для отрицательно заряженных – падает с ростом pH. Как правило, трансурановые элементы, склонны к сорбции по механизму комплексообразования на поверхности минеральных фаз переходных металлов, проявляют высокие сорбирующие свойства.

Из биологических процессов при оценке и обосновании безопасности объектов наиболее существенное значение имеют поглощение акцепторов электронов (кислорода, нитрата, оксидов железа и марганца, сульфата), сопровождающееся продуцированием протонов (следствием чего является подкисление среды) или подщелачиванием (в зависимости от реакции восстановления акцептора), генерацией метана, углекислого газа, аммония, сульфид-иона, органических остатков комплексонов. Эти процессы могут существенно повлиять на миграцию радионуклидов. В качестве примера укажем, что микробное восстановление нитрата может разнонаправленно влиять на поглощение стронция породами [78]. Сама интенсивность микробной нитратредукции в первую очередь лимитирована концентрацией нитрата. В работе [79] установлено, что денитрифицирующие микроорганизмы, обитающие в ПГЗ ЖРО «Северный», способны существовать в растворах с концентрацией нитрат-ионов до 12 г/л, причем оптимум жизнедеятельности наблюдался в районе 7-9 г/л по нитрат-иону, выше 12 г/л концентрация нитрат-ионов для клеток губительна, как это наблюдается в некоторых пульпохранилищах. Эти наблюдения будут справедливы и для других объектов с высокими концентрациями растворенного нитрата.

Формы отходов, их фазовый и химический состав, комплекс внутренних процессов будут определять сорбционно-осадительные свойства самих отходов, а также контактирующих ИББ. Рассмотрим влияние основных процессов, влияющих на выход поллютантов из ПХРО.

### *2.6.1.1. Влияние комплексообразования на подвижность радионуклидов*

Комплексообразование существенно влияет на процессы переноса поллютантов. В качестве примера влияния комплексообразования рассмотрим комплексообразование радионуклидов Sr с нитрат-ионом [80], зачастую являющимся одним из важных поллютантов пунктов размещения особых РАО. С ростом содержания нитрат-иона падает доля незакомплексованного иона, растет доля комплексных форм, а моделирование миграции сорбции стронция в таких системах вынуждает учитывать сорбцию как самого иона, так и его нитратного комплекса [81]. Также комплексообразование требуется учитывать для урана – образование в аэробных системах обладающих отрицательным зарядом карбонатных комплексов уранил-иона приводит к высокой подвижности урана в этих условиях, вследствие проблематичной сорбции отрицательно заряженных частиц на отрицательно заряженных поверхностях природных сорбционных фаз.

Присутствие в системе ПЗРО/ПХРО целлюлозы может грозить образованием сильного комплексообразующего агента – изосахарной кислоты, которая образует с радионуклидами прочные комплексы, драматически усиливая их подвижность. Так, в работе [82] указывается на увеличение (на порядки) предельных растворимостей твёрдых минеральных фаз ряда трансурановых радионуклидов в присутствии продукта деградации целлюлозы изосахарной кислоты. В таблице 2.2 приведены рассчитанные факторы увеличения растворимости в зависимости от концентрации изосахарной кислоты для радионуклидов [82].

Таблица 2.2 – Рассчитанные факторы увеличения растворимости в зависимости от концентрации изосахарной кислоты для радионуклидов [82]

Концентрация изосахарной кислоты	Фактор увеличения растворимости для радионуклида					
	Pu(4)	Am(3)	Th(4)	U(6)	Np(4)	Tc(4)
$1 \times 10^{-6}$	1	1	1	1	1	1
$1 \times 10^{-5}$	20	20	20	1	1	1
$1 \times 10^{-4}$	500	500	500	2	2	1
$1 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^4$	$2 \times 10^4$	$2 \times 10^4$	$10^2$	$10^2$	10
$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^6$	$5 \times 10^3$	$5 \times 10^3$	$5 \times 10^3$

### 2.6.1.2. Влияние окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных свойств, а также минерализации на перенос

Подвижность некоторых элементов в зависимости от окислительно-восстановительных и кислотно-основных условий в водной фазе представлена в таблице 2.3 [83]. Видно, что многие элементы демонстрируют в разных условиях драматически отличающуюся подвижность, вследствие чего учет в прогнозировании этих факторов чрезвычайно необходим.

Таблица 2.3 – Подвижность некоторых элементов в зависимости от окислительно-восстановительных и кислотно-основных условий в водной фазе

Условия		Подвижность				
		Очень высокая	Высокая	Средняя	Низкая	Очень низкая
Окислительно-восстановительные	Аэробные	H, Cl, I, Tc, C, Se	Mo, U, Se, Ca, F, Sr, Ra, Co, Ni, Ag	Cu, Co, Ni, Cd	Sb, Cs, Tl	Zr, Th, PЗЭ, Pu, Am
	Анаэробные	H, Cl, I, B, C, Se	Ca, F, Sr, Ra	As, Cd, Hg	Si, P, K, Fe, Mn	Zr, Th, PЗЭ, Mo, V, U, Se, Co, Sb, Cs, U, Pu, PЗЭ, Am
Кислотность	Кислые	H, Cl, I, C, Se	Mo, V, U, Se, Re, Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	As, Cd	Si, P, K, Pb, Li, Rb, Ba, Be, Bi, Sb, Cs, Fe, Mn	Ti, Zr, Th, PЗЭ, Am
	Нейтральные и щелочные	H, Cl, I, Mo, U, Se, C	Ca, Na, Mg, F, Sr, Ra	As, Cd	Ba, Be, Bi, Sb, Cs	Ti, Sn, Te, Cr, Zr, Th, Co, Ni, PЗЭ, Am

### 2.6.1.3. Особенности процессов в объектах водоёмах

Вследствие того, что большие объемы особых РАО размещены в поверхностных и приповерхностных водоемах, следует рассмотреть, как изменение окислительно-восстановительных условий приводит к изменению степеней окисления радионуклидов и возможной смене механизмов фиксирования в водной системе. Схема биологических и геохимических процессов в системе вода – донные отложения (ДО) проиллюстрирована на рисунке 2.10 ([84]). Фитопланктон в процессе жизнедеятельности будет накапливать радионуклиды по различным механизмам за счет комплекса процессов хемо- и биосорбции, биоаккумуляции и биоминерализации (образования  $\text{CO}_2$ -кальцита) в своем объеме, затем оседая на дно. Необходимо указать, что разные слои воды в результате жизнедеятельности биоты будут обладать разным Eh-уровнем, что также будет сказываться на положении редокс-чувствительных элементов. Эти процессы в той или иной степени следует учитывать при оценке долговременной безопасности пунктов размещения особых РАО.

Сорбцию радионуклидов на взвешенных веществах с последующей седиментацией и депонированием в ДО можно формализовать на основе рассмотрения системы «вода водоёма – взвешенное вещество – поровая вода ДО – твердая фаза ДО». Попавшее в водоём взвешенное вещество оседает на дне водоёма, уплотняясь с глубиной. Свежевыпавший слой ДО (свойства которого можно приравнять к свойствам взвешенного вещества) можно схематично представить в виде поровой воды и сорбирующей фазы, которая, в свою очередь, состоит из твердой фазы ДО [85, 86]. В [86] разработана геохимическая модель сорбции  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в рамках модели ионного обмена на 4 типах ионообменных фаз взвешенным веществом и ДО водоёмов В-10 и В-11 ТКВ. Моделирование показало, что с падением минерализации воды значения сорбционных коэффициентов стронция и цезия росли. Этот подход с дифференцированием пористости, плотности и сорбционных характеристик слоя ДО с глубиной был использован в [17] для моделирования миграции радиостронция сквозь мощность слоя ДО.



Рисунок 2.10 – Схематическая диаграмма биогеохимических процессов в системе вода – взвешенное вещество – донные отложения

#### 2.6.1.4. Особенности учета процессов деградации барьеров безопасности

В процессе эволюции ИББ ПХРО/ПЗРО с ними могут происходить следующие химические изменения:

- механическая деградация барьеров безопасности;
- трансформация материалов ИББ во времени, связанная с растворением материала барьеров, перераспределением минеральных фаз материала барьеров (особенно это касается ИББ на основе портландцементов);
- изменение химических свойств материалов барьеров безопасности в процессе эволюции объекта, приводящее к изменению сорбционно-осадительных процессов с участием радионуклидов внутри массива ББ (изменение коэффициентов распределения, смещение полей образования минеральных фаз и пр.).

Фактически для построения модели выхода из источника радионуклидов необходимо вначале создать модели изменения физических и химических свойств барьеров в ходе жизненного цикла объекта с учетом условий размещения, в том числе климатических факторов. В [87] и [88] изложены принципы оценки безопасности объектов на примере применения современного расчетного средства DESTRUCT, учитывающего разнообразие процессов, происходящих при эволюции системы ИББ и предназначенного для прогнозирования выхода радионуклидов из ближней зоны анализируемого объекта. Общая схема формирования интегральной модели прохождения поллютанта сквозь каскад эволюционирующих барьеров безопасности ПХРО/ПЗРО представлена на рисунке 2.11.



Рисунок 2.11 – Схема формирования интегральной модели прохождения поллютанта сквозь каскад эволюционирующих барьеров безопасности

Рассмотрим вкратце процессы деградации материалов на основе бетонов. Миграция радионуклидов сквозь бетонный массив приводит к перераспределению фаз самого бетона, со временем значение рН поровой воды будет падать с исходных 12,5-13,5 (происходит выход гидроксидов натрия и калия) до 12-12,5 (происходит растворение портландита), затем до 10-10,5 (происходит растворение гидратированных силикатов кальция) [89, 90]. Также может происходить растрескивание материала или, наоборот, зарастание пор. На деградацию бетона влияет химический состав контактирующего раствора – среды размещения. Активная деградация бетона наблюдается в присутствии органических кислот комплексонов.

При миграции радионуклидов сквозь деградирующий бетон обычно принимается, что для каждой стадии деградации существуют свои значения  $K_d$  радионуклидов и свойства водопроводимости. В моделях такого рода переходы из одной стадии в другую реализуются путем задания переменных значений коэффициентам распределения  $K_d$  из различных баз данных, например, [89]. Сам по себе процесс моделирования переноса растворенных веществ сквозь бетонный ИББ, а также оценки влияния бетона на среду размещения представляет комплексную задачу, для решения которой требуется учитывать не только процессы сорбции, но и процессы переходов минеральных фаз не только бетона, но и отдельных радионуклидов [91, 92].

2.6.2. Перечень процессов, необходимых для учета в моделировании при обосновании безопасности при размещении РАО на захоронение

Данные о нерадикационных характеристиках РАО, которые определяют параметры миграции поллютантов, должны быть использованы для выполнения оценки долговре-

менной безопасности. При размещении РАО на захоронение, в том числе дополнительном размещении РАО в пункты размещения особых РАО, и выполнении оценки безопасности объектов, в том числе долговременной, требуется учитывать следующие процессы:

- коррозии металлических форм (в прогнозируемых объектовых условиях с учетом прогнозируемых *Eh*-фронтов, рН условий и химического окружения) с учетом:
    - генерации продуктов коррозии (результатом чего может быть образование новых сорбирующих радионуклиды материалов (например, новообразованные продукты коррозии стальных контейнеров – оксигидроксиды Fe (II/III) – являются мощными сорбентами радионуклидов, сорбирующихся по механизму комплексообразования на поверхностных группах);
    - генерации водорода и других газов;
  - выщелачивание радионуклидов и других потенциально опасных веществ РАО из материалов:
    - при коррозии материалов (в объектовых условиях с учетом прогнозируемых *Eh*-фронтов, рН условий и химического окружения);
    - при выщелачивании из загрязненных бетонов с учетом моделирования процессов эволюции бетона (стадийные модели, модели с учетом химических взаимодействий в массиве бетона и пр.);
    - при выщелачивании из других форм РАО;
  - биологически связанные процессы:
    - биодegradации помещенных материалов как в зоне размещения отходов, так и в дальней зоне;
    - генерации веществ, усиливающих миграцию радионуклидов;
    - газообразования;
    - минерализации;
  - процессы эволюции барьеров безопасности:
    - на основе глин (с учетом прогнозного развития условий, том числе и в щелочных условиях);
    - на границе барьер/барьер (например, влияния щелочных выщелачивателей бетона глинистый материал [93]);
  - процессы изменения химического состава, в том числе и *Eh* и рН (воды) в системе размещения:
    - процессы, влияющие на распределение радионуклидов и других поллютантов в системе;
  - процессы или условия, влияющие на растворимость и сорбцию радионуклидов, в том числе:
    - деградацию органического вещества с учетом образования веществ комплексонов;
    - процессы эволюции материалов на основе бетонов;
    - процессы коррозии накопленного металлического материала;
  - разрушающее воздействие природных (грунтовых и метеорных) вод на инженерные барьеры;
  - процессы или условия, связанные с присутствием природных коллоидов и органических материалов.
- В процессе оценки влияния следует учитывать широкий класс неопределенностей, например:
- невыдержанность мощностей ИББ;
  - неопределенность, связанная с параметрами влияния процессов;
  - неопределенность сорбционно-осадительных свойств материалов;
  - неопределенности параметров выщелачивания и др.

## 2.7 Обоснование безопасности размещения дополнительных РАО в пункты размещения особых РАО

Вопросы обоснования безопасности дополнительного размещения РАО в пункты размещения особых РАО или обоснования возможности использования отдельных материалов при консервации объектов (закрытии ПЗРО) представляют особый интерес вследствие комплекса причин. Введем термин ДРМ – дополнительно размещаемые материалы. Не будем рассматривать ситуацию размещения РАО состава, аналогичного отходам, уже размещенным в пункте размещения особых РАО. Остановимся на ситуациях, при которых рассматривается возможность размещения в ПХРО иных по составу материалов или РАО. К таким ДРМ можно отнести:

- материалы, содержащие металл (например, образующийся при выполнении работ по ВЭ ОИАЭ), коррозия которого создаст благоприятную восстановительную обстановку в зоне размещения РАО, что будет способствовать переходу многих радионуклидов в восстановленное состояние, а образующиеся продукты коррозии будут сорбировать радионуклиды;
- материалы на основе глин, способствующие сорбции радионуклидов в зоне размещения объекта;
- материалы бетонов, способствующие сдвигу в щелочную сторону, а также некоторой сорбции радионуклидов;
- другие материалы, которые могут перевести радионуклиды и другие поллютанты в маломигрирующие формы.

При размещении ДРМ должны быть решены проблемы выхода поллютантов за пределы пункта размещения, вследствие чего нужно ответить на следующие вопросы:

- должно быть гарантировано отсутствие конфликта ДРМ с исходными формами отходов (в том числе с образованием пожароопасных газов, исключение пожароопасной ситуации и т.д.);
- само размещение ДРМ не должно приводить к механическому разрушению каскада ИББ,
- требуется исключение ухудшения текущего, или базового, сценария деградации существующей системы ИББ под действием химических процессов, которые могут произойти в процессе деградации ДРМ со временем;

Так, помещение в существующую систему материалов, сдвигающих  $Eh$  в восстановительную сторону, рН – в щелочную, следует расценивать как положительный фактор для удаления поллютантов, находящихся в катионной форме.

Последовательность проведения расчетов при оценке влияния ДРМ на пункт размещения особых РАО/ПЗРО приведена на рисунке 2.12. Отметим, что оценка безопасности требует применения современных методов геохимического моделирования и расчетных кодов с современными базами термодинамических и кинетических параметров, а также учета широкого класса неопределенностей.

Перечень учитываемых процессов указан в пункте 2.6.2. При оценке влияния размещения ДРМ следует также учитывать неопределенности процессов, связанные как с материалом исходных особых РАО и ИББ, так и с самими ДРМ, при этом следует идентифицировать источники неопределенностей, для каждой группы неопределенностей найти механизмы их оценки и механизмы их уменьшения.

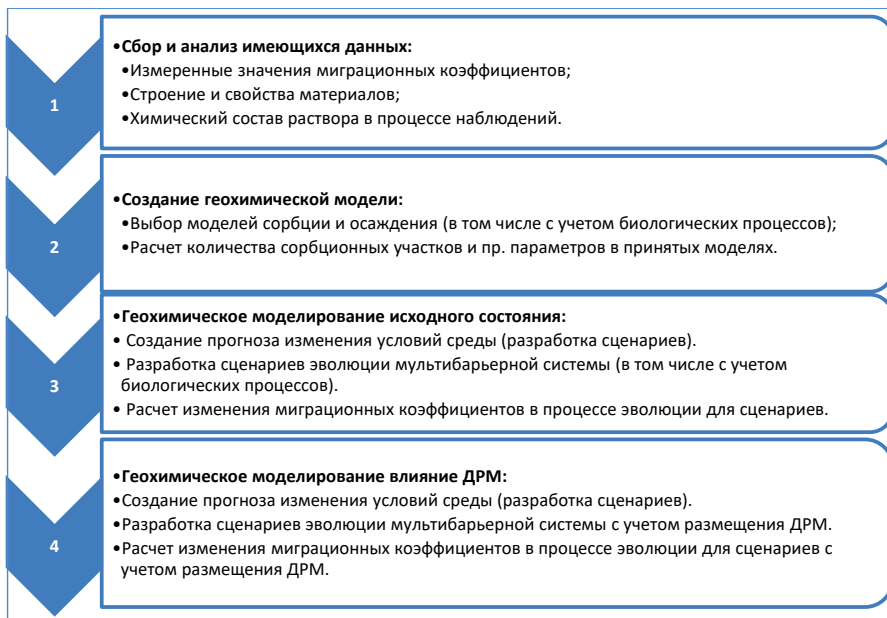


Рисунок 2.12 – Последовательность проведения расчетов при оценке влияния дополнительных размещаемых материалов (реагентов) на пункт размещения особых РАО/ПЗРО

В [94] отмечено, что примером возможного использования в качестве ДРМ измельченных строительных конструкций при консервации пункта размещения особых РАО является закрытие акваторий приповерхностных водоемов-хранилищ ЖРО. В работе [17] в качестве ДРМ рассмотрены бетоносодержащие отходы в качестве замены чистого щебня при их использовании в качестве засыпки водоема В-17 ФГУП «ПО «Маяк». Использование бетонных ДРМ в качестве засыпки акватории водоема-хранилища в общем случае отразится на следующих процессах, определяющих долговременную безопасность объекта – вследствие растворения слагающих бетон фаз произойдет некоторое повышение pH, а водная фаза обогатится кальцием, что может привести к потенциальному уменьшению сорбции Sr толщей слоя ДО вследствие конкуренции со стронцием. В [17] оценено влияние этих ДРМ на скорость миграции радиостронция сквозь ДО водоема. В работе [17] приведен перечень процессов, которые необходимо учитывать при полномасштабном обосновании безопасности использования материалов при консервации водоема-хранилища РАО В-17 (рисунок 2.13).

При использовании этого подхода может быть создана модель дополнительного размещения и других материалов, например, металлических. В данном случае придется учесть модели коррозии либо с подходом к моделированию скорости коррозии, в котором скорость процесса задается постоянной, либо с учетом кинетики коррозии (например, согласно [95]).



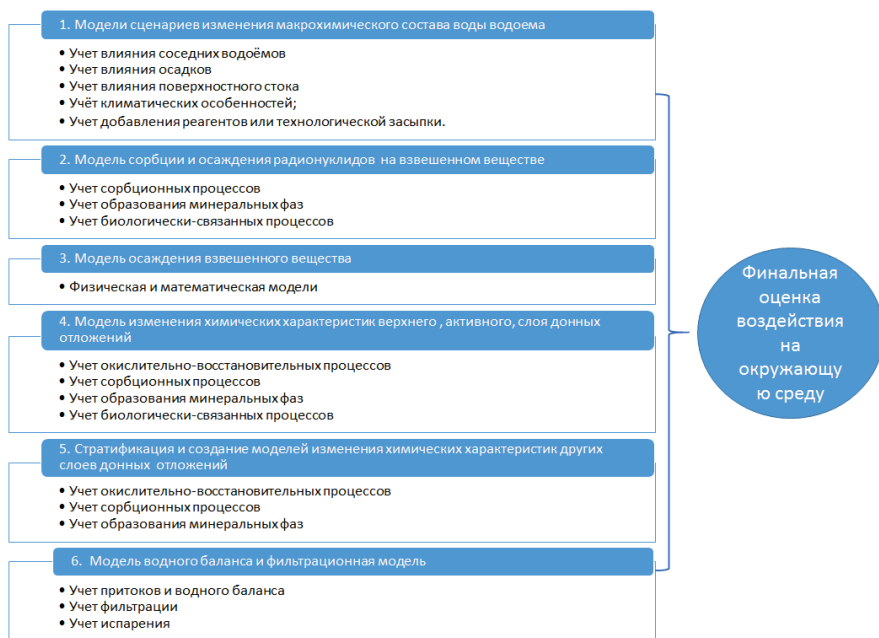


Рисунок 2.13 – Перечень процессов в системе вода – взвешенное вещество – ДО, которые необходимо учитывать при обосновании безопасности водоемов

Рассмотрим, как повлияет размещение металлических отходов, а также строительных отходов, содержащих подщелачивающие материалы на основе портландцемента на распределение форм некоторых ТУЭ в ПХРО, например, пульпохранилищах (закрытие акватории которых сегодня является актуальной задачей). Пульповый материал объектов размещения особых РАО, зачастую содержит большое количество оксигидроксидов железа, которые проявляют очень высокую сорбционную активность к ряду радионуклидов в околонеutralных и щелочных средах (например, [96]). Таким образом, сдвиг pH в щелочную сторону при размещении дополнительных РАО при воздействии их выщелачивающих материалов должен привести к падению сорбционной активности и повышенному выходу радионуклидов. Добавление в материалы таких пульпохранилищ, богатых кальцием, защелачивающих материалов должно приводить к снижению активности в растворе вследствие комплекса происходящих процессов:

– поступающий с ДРМ кальций будет способствовать выводу из водной фазы декантата карбонат-иона, что будет способствовать как разрушению прочных комплексов уранил-иона с карбонат-ионом, а также более легкому образованию индивидуальных фаз урана, в том числе уранатов кальция;

– образование комплексов уранил-иона в растворе вида  $Ca_xUO_2CO_3^{(2-x-4)}$  в карбонатных растворах в присутствии  $Ca^{+2}$  ([97]), указывает на вероятность образования в процессе сорбции и поверхностных комплексов такого рода.

Таким образом, при размещении дополнительных отходов требуется учет широкого ряда процессов, на современном уровне знаний, описывающих комплекс происходящих процессов как с самими формами РАО, так и системой ИББ. Размещение ДРМ в зоне размещения особых РАО не должно оказывать отрицательного влияния на миграцию целевых поллютантов и на функционирование системы ИББ.

## 2.8 Разработка программы перевода ПРОРАО в ПЗРО

Целью разработки программы перевода пунктов размещения особых РАО (ПРОРАО) в новый статус ПЗРО (далее «Программа...») является планирование работ по переводу ПРОРАО в ПЗРО на основе разработки организационно-технического документа, в котором определяются основные мероприятия по переводу, порядок, условия и планируемые сроки их проведения, последовательность и ориентировочный график выполнения работ по переводу, а также планируемое конечное состояние ПРОРАО после завершения работ по переводу.

Планирование перевода ПРОРАО в статус ПЗРО выполняется с начала установления статуса ПРОРАО.

Эксплуатирующая организация (ЭО) выполняет определение категории ПРОРАО. Категория ПРОРАО/ пункта консервации особых РАО (ПКОРАО) должна быть представлена и обоснована в проектной документации и (или) в отчете по обоснованию безопасности ПРОРАО.

Определение радиационного воздействия ПРОРАО на работников (персонал), население и окружающую среду выполняется эксплуатирующей организацией (ЭО) в рамках оценки безопасности ПРОРАО.

Оценка безопасности ПРОРАО включает в себя оценку текущего уровня безопасности и оценку долговременной безопасности ПРОРАО.

При планировании работ по переводу ПРОРАО и ПКОРАО в другой статус особое внимание уделяется работам, которые должны быть выполнены по объекту ПРОРАО/ПКОРАО и непосредственно будут влиять на этапы, содержание «Программы...» и технические решения по выполнению работ при переводе в другой статус в части:

- подготовки ПРОРАО и ПКОРАО к переводу в другой статус;
- проведения инженерного и радиационного обследования ПРОРАО и ПКОРАО;
- безопасного выполнения работ по переводу ПРОРАО и ПКОРАО в другой статус;
- проведения радиационного контроля и мониторинга состояния ПРОРАО и ПКОРАО при переводе в другой статус и после перевода.

При разработке «Программы...» необходимо руководствоваться требованиями следующих нормативных документов:

Федерального закона от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» [19] в целях содействия соблюдению требований пп. 61–63 НП-058-14 [9], пунктов 18 - 25 НП-103-17 [26], РБ-146-18 [27], Единый отраслевой порядок перевода пунктов размещения особых радиоактивных отходов в пункты консервации особых радиоактивных отходов или пункты захоронения радиоактивных отходов и переводов пунктов консервации особых радиоактивных отходов в пункты захоронения радиоактивных отходов [98].

И учитывать положения следующих документов МАГАТЭ: Захоронение РАО. Специальные требования безопасности, №. SSR-5 [99]; Обращение с РАО перед захоронением, № GSR-5 [100], Обоснование и оценка безопасности захоронения РАО. Специальное руководство по безопасности, SSG-23 [101], и др.

### **Исходные данные и материалы для выполнения мероприятий по переводу ПРОРАО в ПЗРО**

Программа по переводу ПРОРАО в ПЗРО разрабатывается на основании следующей исходной информации:

- категория ПРОРАО/ПКОРАО, установленная в соответствии с НП-103-17;
- возможность использования существующих систем (элементов), конструкций и сооружений при проведении работ по переводу (систем радиационного контроля, вентиляции (при наличии), элементов существующей транспортно-технологической схемы по обращению с РАО (транспортно-технологического оборудования, грузоподъемных механизмов);
- количество РАО в ПРОРАО/ПКОРАО, их радионуклидный и морфологический состав, агрегатное состояние, удельная (объемная) и суммарная активности;

- наличие и уровни загрязнения радионуклидами площадки размещения ПРО-РАО/ПКОРАО;
- наличие произошедших аварий, их последствия и принятые меры по ликвидации последствий этих аварий;
- наличие проведенных ремонтных работ, модернизаций, реконструкций ПРО-РАО/ПКОРАО;
- наличие временных ограничений по переводу ПРОРАО/ПКОРАО в другой статус;

В программу перевода ПРОРАО/ПКОРАО в другой статус необходимо так же включать следующую информацию:

- характеристики условий размещения и характеристики площадки размещения ПРОРАО/ПКОРАО, которые оказывают влияние на выход радионуклидов из ПРОРАО/ПКОРАО, их перенос и накопление в окружающей среде;
- основные характеристики ПРОРАО/ПКОРАО, оказывающие влияние на безопасность его перевода в другой статус и используемые при разработке технических решений и организационных мероприятий по подготовке к переводу и обеспечению безопасности работников (персонала), населения и окружающей среды;
- наличие и уровень загрязнения радионуклидами площадки размещения ПРОРАО/ПКОРАО, наличие и описание последствий произошедших аварий;
- сведения о разработанных технических решениях и организационных мероприятиях по обоснованию безопасности и остаточного ресурса невосстанавливаемых элементов систем, важных для безопасности, и порядке их реализации;
- оценку необходимости замены выработавшего свой ресурс оборудования, важного для безопасности, при проведении работ по переводу.

### **Этапы выполнения работ по переводу ПРОРАО в ПЗРО**

Последовательность и необходимость выполнения отдельных этапов работ по переводу ПРОРАО в ПЗРО во многом зависит от характеристик начального состояния ПРО-РАО, от полноты информации по радиационному состоянию и состоянию инженерных барьеров безопасности, полученной при проведении инженерного и радиационного обследования ПРОРАО, а также, от проведенной оценки безопасности включая оценку долговременной безопасности ПРОРАО. И если при проведении работ по оценке безопасности ПРОРАО и долговременной оценке безопасности показано, что существующие ИББ действующего ПРОРАО обеспечивают критерии безопасности для ПЗРО, то разработка проекта перевода ПРОРАО в ПЗРО с разработкой технических решений по дополнительным ИББ может не выполняться и все решения, предусмотренные в проекте ПРОРАО могут оставаться без изменений. В таком случае после выполнения мероприятий по инженерному и радиационному обследованию ПРОРАО и оценки безопасности и оценке долговременной безопасности с учетом конечного состояния удовлетворяющего требованиям ПЗРО, могут быть начаты мероприятия по переводу ПРОРАО в ПЗРО без разработки проектной документации на перевод ПРОРАО в ПЗРО.

Принципиальная схема основных этапов работ по переводу ПРОРАО в ПЗРО представлена на рисунке 2.14.

При разработке этапов проведения работ по переводу ПРОРАО в ПЗРО в ООБ ПРОРАО (или ООБ ОИАЭ, в состав которого он входит) необходимо вносить ряд изменений:

- по окончании разработки «Программы...» перевода ООБ дополняется основными положениями «Программы...», обеспечивающими возможность оценки безопасности работ по предстоящему переводу;
- по окончании разработки проекта перевода в ООБ дополняются сведения о проектных решениях по созданию новых и/или по восстановлению имеющихся инженерных барьеров безопасности, техническим решениям и организационным мероприятиям по обеспечению безопасности при проведении работ согласно проекту перевода;



Рисунок 2.14 – Принципиальная схема основных этапов работ по переводу ПРОРАО в ПЗРО

- по окончании работ по переводу ПРОРАО в ПЗРО в ООБ дополняются сведения о состоянии, характеристиках образовавшегося ПЗРО с указанием его статуса, а также результаты оценки безопасности по статусу ПЗРО.

В целом сквозной процесс перевода ПРОРАО в ПЗРО включает в себя подготовительный и 2 основных этапа:

**Подготовительный этап** – Реализация мероприятий по подготовке исходных данных и обоснованию выбора варианта перевода ПРОРАО в новый статус (Приложение 1);

Мероприятия, выполняемые на подготовительном этапе направлены на предварительное рассмотрение вопросов оценки долговременной безопасности, технических решений и технико-экономических показателей вариантов перевода ПРОРАО в ПЗРО с целью анализа и выбора наиболее безопасного и экономически приемлемого варианта.

При разработке мероприятий по подготовке ПРОРАО к переводу в другой статус учитываются следующие мероприятия:

- проведение инженерного и радиационного обследования ПРОРАО;
- разработка предпроектных технических решений и экономических расчетов по вариантам перевода ПРОРАО в другой статус;
- подготовка работников (персонала) для выполнения работ по переводу;
- анализ необходимой инфраструктуры для выполнения работ по переводу;
- разработка (корректировку) программ радиационного контроля и мониторинга системы размещения РАО, модернизацию соответствующих систем контроля и мониторинга;
- разработка решений по аварийному планированию и противоаварийным мероприятиям при выполнении работ по переводу;

Так же на подготовительном этапе ЭО оформляет решение об иницировании процесса по переводу ПРОРАО в новый статус. И выпускает распорядительный документ об иницировании перевода объекта в новый статус.

Отчётные материалы и распорядительные документы, выполненные при реализации мероприятий на подготовительном этапе работ, являются исходными данными для выполнения организационных и технических мероприятий по переводу Объекта в новый статус (включая разработку проектной и обосновывающей документации) по 1 этапу.

1 этап – Реализация организационных и технических мероприятий по переводу Объекта в новый статус (Приложение 2);

2 этап – Подготовка комплектов документов для отнесения Правительством Российской Федерации Объекта к новому статусу (Приложение 3).

### **Содержание программы по переводу ПРОРАО в ПЗРО**

При разработке самой «Программы...» в ней должны быть представлены перечень и описание основных мероприятий и работ по переводу ПРОРАО в другой статус, последовательность и ориентировочный график выполнения работ по переводу, включая разработку соответствующей проектной и эксплуатационной документации.

При разработке «Программы...» может быть использовано следующее содержание:

1. Введение
2. Основания для вывода из эксплуатации объекта (объектов)
3. Историческая справка по объекту
  - 5.1 Полное и сокращенное наименование
  - 5.2 Проектное назначение
  - 5.3 Категория ЯРОО
  - 5.4 Расположение объекта
  - 5.5 Ситуационный план объекта
  - 5.6 Схема расположения объекта
  - 5.7 Радиационные аварии и инциденты
4. Краткое описание ПРОРАО
5. Краткая характеристика ПРОРАО
6. Этапы выполнения работ
7. Перечень мероприятий подготовительного этапа работ (при необходимости) (Приложение 1)
8. Перечень мероприятий Этапа № 1 (Приложение 2)
9. Перечень мероприятий Этапа № 2 (Приложение 3)
10. Перечень документов для перевода объекта имеющего статус ПРОРАО в статус ПЗРО

### **Основные требования по обеспечению безопасности при реализации мероприятий по переводу ПРОРАО в ПЗРО**

#### ***Требования к проведению комплексного инженерного и радиационного обследования***

При проведении обследования ПРОРАО/ПКОРАО выполняются следующие виды обследования:

- техническое состояние систем и элементов, важных для обеспечения безопасности (зданий, сооружений, барьеров безопасности, оборудования);
- состояние систем обеспечения пожаро и взрывобезопасности ПРОРАО/ПКОРАО;
- состояние обеспечения ядерной безопасности (при наличии РАО, содержащих ядерно-опасные делящиеся нуклиды);
- состояние обеспечения радиационной обстановки на площадке ПРОРАО/ПКОРАО, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения (при наличии);
- характеристики ОРАО, их состояние, количество, состав;
- природные и техногенные условия размещения ПРОРАО/ПКОРАО, которые могут повлиять на разработку мероприятий по переводу ПРОРАО/ПКОРАО в другой статус, и прогноз их изменения;
- элементы, важные для безопасности, или необходимые для перевода ПРОРАО/ПКОРАО в другой статус, не подлежащие восстановлению;

- элементы, важные для безопасности, или необходимые для перевода ПРО-РАО/ЛКО-РАО в другой статус, остаточный ресурс которых может быть обоснован и достаточен при наличии периодического технического обслуживания и ремонта, либо замены.

Объем и сроки проведения обследования ПРОРАО/ЛКОРАО определяются исходя из объема информации, необходимой для разработки проекта перевода ПРОРАО/ЛКОРАО в ПЗРО.

***Требования к разработке проектной документации перевода ПРОРАО в ПЗРО***

Проект перевода ПРОРАО/ЛКОРАО в ПЗРО разрабатывается с учетом результатов проведенного обследования ПРОРАО/ЛКОРАО и оценки безопасности.

В проекте перевода ПРОРАО/ЛКОРАО в другой статус должны быть разработаны и представлены следующие сведения:

- описание состояния ПРОРАО/ЛКОРАО на момент разработки проекта перевода (описание условий размещения, имеющихся барьеров безопасности и их состояния, объема, состояния и характеристик, размещенных ОРАО), полученного в результате проведения обследования;
- последовательность выполнения работ по переводу;
- перечень основных систем и элементов ПРОРАО/ЛКОРАО, важных для безопасности, необходимых для проведения работ по переводу ПРОРАО/ЛКОРАО в другой статус;
- описание характеристик, создаваемых/восстанавливаемых барьеров безопасности, их свойств и материалов, технологий, применяемых при их создании/восстановлении, а также минимальные сроки, в течение которых каждый из барьеров безопасности ограничивает выход радионуклидов в установленных пределах после проведения работ по переводу ПРОРАО/ЛКОРАО в другой статус;
- перечень и описание методов контроля прочностных, защитных и изолирующих свойств примененных барьеров безопасности;
- перечень и описание основных технических решений и организационных мероприятий по обеспечению безопасности при проведении работ по переводу;
- описание конечного состояния ПРОРАО/ЛКОРАО после завершения работ по его переводу в другой статус;
- результаты оценки долговременной безопасности, проведенной с учетом вновь созданных/восстановленных барьеров безопасности и с учетом внешних и внутренних воздействий природного и техногенного происхождения;
- мероприятия по обеспечению радиационной безопасности при проведении работ по переводу, а также оценка доз облучения работников (персонала);
- перечень мероприятий по охране объектов окружающей среды;
- объем, способы и методы радиационного контроля и мониторинга системы размещения ОРАО и описание соответствующих технических средств для их проведения;
- мероприятия и решения по обеспечению ядерной безопасности;
- технические решения и оборудование по обращению с РАО, образующимися при проведении работ по переводу.

***Требования к разработке систем радиационного контроля и мониторинга при переводе ПРОРАО в ПЗРО***

Радиационный контроль и мониторинг при переводе ПРОРАО/ЛКОРАО в другой статус рекомендуется проводить в целях:

- оценки технического состояния барьеров безопасности;
- определения характеристик радиационной обстановки, необходимых для оценки радиационного воздействия на работников (персонал), население и окружающую среду при проведении работ;
- контроля за соблюдением норм и правил радиационной безопасности при проведении работ по переводу ПРОРАО/ЛКОРАО в другой статус;

- своевременного обнаружения изменения и прогнозирования радиационной обстановки при проведении работ по переводу во всех условиях, включая аварии;
- определения необходимых мер по обеспечению радиационной безопасности и оценки их эффективности;
- обоснования необходимости и оценки эффективности реабилитации территории (в случае загрязнения площадки размещения ПРОРАО/ПКОРАО радионуклидами выше пределов, установленных санитарными правилами и нормами радиационной безопасности).

Радиационный контроль и мониторинг проводится на следующих этапах:

- в процессе проведения работ по переводу, при этом контролируется радиационное воздействие на работников (персонал), участвующих в проведении работ (на регулярной и систематической основе, установленной в проектной и эксплуатационной документации по переводу);
- при анализе радиационной обстановки перед началом проведения работ по переводу и после их завершения для оценки соответствия состояния ПРОРАО/ПКОРАО конечному состоянию, установленному в проекте;
- после окончания работ по переводу с целью контроля радиационной обстановки и мониторинга состояния барьеров безопасности ПРОРАО/ПКОРАО (периодически, на основании соответствующей эксплуатационной документации).

В программы радиационного контроля и мониторинга ПРОРАО/ПКОРАО должны включаться следующие основные направления:

- мониторинг состояния барьеров безопасности;
- контроль облучения работников (персонала) ПРОРАО/ПКОРАО;
- контроль выбросов и сбросов РВ в окружающую среду;
- радиационный контроль и мониторинг окружающей среды в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения (при наличии) ПРОРАО/ПКОРАО;
- радиационный контроль при авариях с учетом возможных сценариев развития аварий с выбросом РВ в окружающую среду.

### 3. Практические рекомендации по формированию пакета документов по обоснованию отнесения РАО к особым и удаляемым РАО

Настоящее пособие разработано в соответствии со сформулированными коллективом ученых и специалистов органов регулирования безопасности при использовании атомной энергии подходами к оценке и сопоставлению критериальных показателей (коллективных эффективных доз облучения, рисков потенциального облучения, совокупного размера возможного вреда окружающей среде и затрат) для целей обоснования отнесения РАО к особым РАО или удаляемым РАО [1-4].

При подготовке Пособия предусматривалось, что:

- обосновывающие материалы для отнесения РАО к особым РАО или удаляемым (далее – обоснование) разрабатываются организацией, в чьей собственности, хозяйственном ведении или оперативном управлении находится ПХРО;
- обоснование должно быть подготовлено в традиционной форме – текстового документа, по содержанию и форме изложения аналогичному отчетам по обоснованию безопасности. Обоснование должно включать ссылки на разрешительные, проектные, эксплуатационные, учетные и иные имеющиеся документы по оценке безопасности данного объекта;
- в качестве ПХРО может рассматриваться единичный объект, зарегистрированный в СГУК РВ и РАО, или комплекс объектов в случае, если в этом комплексе уже имеются или планируются к созданию общие инженерные или естественные барьеры безопасности (общий проект консервации);
- обоснование должно представить всю необходимую информацию для принятия заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и Госкорпорацией «Росатом» решения о разработке предложений по внесению изменений в распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 февраля 2016 г. № 238-р (с изменениями, внесенными распоряжениями Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 85-р, от 21 февраля 2019 г. № 255-р и от 6 марта 2020 г. №537-р) [18].

В разделах настоящего Пособия содержатся практические рекомендации по формированию набора исходных данных, возможных допущений и алгоритмов расчета критериальных показателей для доказательства выполнения критериев отнесения РАО к особым или удаляемым РАО. При разработке обоснования эксплуатирующая организация должна учитывать уже имеющуюся информацию о ПХРО: историю создания, его назначение, состояние физических барьеров безопасности, данные ОМСН, ОВОС, проектных материалов по консервации объекта и др.

Для упрощения рассмотрения обоснования материалов заинтересованными органами и организациями предлагается использовать следующую единую структуру документа «Обосновывающие материалы для отнесения РАО, размещенных в пункте хранения \_\_\_\_\_, к особым РАО», а также документа «Обосновывающие материалы для отнесения РАО, размещенных в пункте хранения \_\_\_\_\_, к удаляемым РАО» (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Структура «Обосновывающие материалы для отнесения РАО, размещенных в пункте хранения \_\_\_\_\_, к особым РАО», а также документа «Обосновывающие материалы для отнесения РАО, размещенных в пункте хранения \_\_\_\_\_, к удаляемым РАО»

№ разд.	Наименование раздела при обосновании отнесения к	
	Особым РАО	Удаляемым РАО
-	Основание для разработки обоснования	Основание для разработки обоснования
1.	Краткая характеристика ПХРО	Краткая характеристика ПХРО
2.	Соответствие РАО критериям отнесения к особым РАО по происхождению и местоположению	Соответствие РАО критериям отнесения к особым РАО по происхождению и местоположению



3.	Оценка принципиальной возможности локализации РАО в месте их размещения	Оценка принципиальной возможности локализации РАО в месте их размещения
4.	Описание двух вариантов обращения с РАО	Описание двух вариантов обращения с РАО
4.1.	Вариант захоронения РАО в месте их нахождения	Вариант захоронения РАО в месте их нахождения
4.2.	Вариант удаления РАО	Вариант удаления РАО
5.	Оценка коллективных эффективных доз облучения	Оценка коллективных эффективных доз облучения
5.1.	Оценка коллективной эффективной дозы облучения, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения	Оценка коллективной эффективной дозы облучения, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения
5.2.	Оценка коллективной эффективной дозы облучения, связанной с удалением РАО	Оценка коллективной эффективной дозы облучения, связанной с удалением РАО
6.	Оценка рисков потенциального облучения	Оценка рисков потенциального облучения
6.1.	Оценка риска потенциального облучения, связанного с захоронением РАО в месте их нахождения	Оценка риска потенциального облучения, связанного с захоронением РАО в месте их нахождения
6.2.	Оценка риска потенциального облучения, связанного с удалением РАО	Оценка риска потенциального облучения, связанного с удалением РАО
7.	Оценка затрат, связанных с захоронением РАО в месте их нахождения	Оценка затрат, связанных с захоронением РАО в месте их нахождения
8.	Оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения	Оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения
9.	Оценка затрат, связанных с удалением РАО	Оценка затрат, связанных с удалением РАО
10.	Обоснование отнесения к пункту размещения/консервации особых РАО	Обоснование отнесения ПХРО к пункту временного/долговременного хранения удаляемых РАО
11.	Заключение	Заключение
<p>Приложения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ООБ ПХРО либо ООБ ОИАЭ, в состав которого он входит;</li> <li>• санитарно-эпидемиологическое заключение, выданное в отношении работ по обращению с РАО и осуществлению радиационного контроля;</li> <li>• заключение государственной экологической экспертизы материалов обоснования лицензии на эксплуатацию ПХРО (при наличии);</li> <li>• лицензия на эксплуатацию ПХРО либо на эксплуатацию ОИАЭ, в состав которого он входит;</li> <li>• выписка из ЕГРН (кадастровый паспорт);</li> <li>• копия акта первичной регистрации РАО и проект дополнения к акту первичной регистрации, с указанием номера акта, наименования и кадастрового номера ПХРО (пример приведен в Приложении 4);</li> <li>• нотариально удостоверенная копия устава организации;</li> <li>• документ, определяющий состав пункта хранения РАО и его границы (в соответствии с [102]);</li> <li>• а также концепция и/ или программа ВЭ ПХРО (при наличии).</li> </ul>		

Оформление обоснования в части титульного листа, осуществляется в соответствии с общими требованиями к отчетам по оценке безопасности.

Отметим, что перечисленные приложения соответствуют положениям [98], за исключением последнего пункта, который касается ситуации обоснования перевода пунктов долговременного хранения РАО в пункты временного хранения удаляемых РАО.

### 3.1 Основание для разработки обоснования

В разделе рекомендуется привести основную причину подготовки обоснования. Например, выполнение требования федеральных норм и правил в области использования атомной энергии; завершение срока, до которого решение по отнесению РАО к особым или удаляемым было отложено в рамках первичной регистрации РАО; развитие технологий обращения с РАО; новые данные об объекте или накопленных РАО, инициирующие пересмотр ранее принятого решения; изменение критериев отнесения РАО к особым РАО и др.

Раздел должен содержать ссылки на распорядительные, нормативные правовые документы, методические материалы, в соответствии с которыми подготовлено обоснование, а также список документов, отчетов и лицензий, которые использовались при формировании обоснования, список проектной документации на ПХРО.

#### ***Пример раздела «Основание для разработки обоснования» для ПХ ТРО АО «Магнит»<sup>1</sup>:***

*Настоящие «Обосновывающие материалы для отнесения РАО, размещенных в пункте хранения «ПХ ТРО», к особым РАО» (далее - обоснование) подготовлены в соответствии с требованиями п. 55 НП-058-14 «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения».*

*В рамках первичной регистрации РАО, проведенной в 2014 году на площадке АО «Магнит», пункт хранения твердых РАО (ПХ ТРО) был отнесен комиссией к пункту долговременного хранения РАО (акт № 1-2.4/\_\_\_ от \_\_\_ 20\_\_ г., утв. первым заместителем генерального директора Госкорпорации «Росатом»). Решение по отнесению РАО к особым или удаляемым РАО было отложено до 2023 года.*

*Неопределенный статус ПХ ТРО не позволяет выполнить работы по консервации пункта хранения РАО, а также работы по повышению безопасности объекта.*

*Основанием для разработки настоящего обоснования послужило полное соответствие РАО, размещенных в пункте хранения ПХ ТРО критериям отнесения к особым РАО, утвержденным постановлением 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» (с изменениями и дополнениями от \_\_\_ 20\_\_ г.).*

*При подготовке обоснования использовалась «Методика определения состава затрат, связанных с удалением радиоактивных отходов (включая расходы на их извлечение, переработку, кондиционирование, перевозку к пункту захоронения и захоронение)» [ссылка], а также Пособие [ссылка].*

*Учтены действующие законодательные и нормативные документы, в том числе: Федеральный закон от 09.01.1996 № 3 «О радиационной безопасности населения»; Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»; Федеральный закон от 04.05.1999 № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха»; Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии»;*

<sup>1</sup> Далее по тексту приведены примеры формирования отдельных разделов обоснований для двух пунктов хранения РАО «ПХ ТРО» и «ПХ ЖРО», размещенных на вымышленных предприятиях АО «Магнит» и ФГУП «Ларс» соответственно.

Федеральный закон от 11.07.2011 №190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»;

НП-019-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности (НП-019-15)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 июня 2015 г. № 242;

НП-020-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности (НП-020-15)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 июня 2015 г. № 243;

НП-024-2000. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии (НП-024-2000)», утв. постановлением Госатомнадзора России от 28.12.2000 №16;

НП-055-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности. (НП-055-14)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 22 августа 2014 г. № 379;

НП-058-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения. (НП-058-14)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 5 августа 2014 г. № 347;

НП-064-17. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии (НП-064-17)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30.11.2017 г. № 514;

НП-069-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов. Требования безопасности (НП-069-14)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 06 июня 2014 г. № 249;

НП-093-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения ( )», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2014 г. № 572;

НП-097-16. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Требования к обеспечению безопасности при выводе из эксплуатации пунктов хранения радиоактивных отходов (НП-097-16)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 21 июля 2016 г.;

НП-099-17. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Требования к составу и содержанию отчета по обоснованию безопасности пунктов хранения радиоактивных отходов (НП-099-17)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23 июня 2017 г. № 219;

НП-100-17. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Требования к составу и содержанию отчета по обоснованию безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов (НП-100-17)», утв.

приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23 июня 2017 г. № 218;

НП-103-17. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Требования к обеспечению безопасности пунктов размещения особых радиоактивных отходов и пунктов консервации особых радиоактивных отходов. (НП-103-17)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 октября 2017 г. № 418;

РБ-003-21. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Оценка долговременной безопасности пунктов глубинного захоронения радиоактивных отходов (РБ-003-21)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19.03.2021 № 101;

РБ-004-21. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. «Рекомендации по формированию перечня радионуклидов, контролируемых в кондиционируемых радиоактивных отходах предприятий ядерного топливного цикла (РБ-004-21)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 7 июля 2021 года № 251;

РБ-111-16. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Обеспечение безопасности при закрытии пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов (РБ-111-16)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 24.08.2016 №352;

РБ-117-16. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. «Оценка долговременной безопасности пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов. (РБ-117-16)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14.12.2016 № 531;

РБ-122-16. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Оценка безопасности при обращении с радиоактивными отходами до захоронения (РБ-122-16)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14.12.2016 № 534;

РБ-146-18. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. «Рекомендации по переводу пунктов размещения особых радиоактивных отходов в пункты консервации особых радиоактивных отходов и пункты захоронения радиоактивных отходов (РБ-146-18)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 августа 2018 г. № 342; СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)»;

СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)»;

Рекомендации Р52.18.820-2015 «Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки»; а также другие документы, ссылки на которые приводятся далее по тексту обоснования.

При подготовке обоснования использовались материалы прогнозного расчета миграции радионуклидов, выполненные АО «Миграция» и изложенные в отчете «Оценка миграции радионуклидов из пункта хранения ПХ ТРО», (реквизиты документа).

Проект консервации пункта хранения «ПХ ТРО» АО «Магнит», выполненный АО «\_\_\_\_\_» (реквизиты).

Проведение комплексных геолого-геофизических исследований пункта хранения \_\_\_\_\_ в 20\_\_ г. Отчёт \_\_\_\_\_ (реквизиты).

Отчёт о радиозоологической обстановке в районе размещения АО «Магнит» за период 20\_\_ - 20\_\_ гг. Инв. №№ \_\_\_\_\_.

Лицензия № \_\_ от \_\_\_\_\_, выданная \_\_\_\_\_ АО «Магнит» на эксплуатацию пункта хранения ПХ ТРО.

### **Пример раздела «Основание для разработки обоснования» для ПХ ЖРО ФГУП «Ларс»:**

Настоящие «Обосновывающие материалы для отнесения РАО, размещенных в пункте хранения «ПХ ЖРО», к удаляемым РАО» (далее - обоснование) подготовлены в соответствии с требованиями п. 55 НП-058-14 «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения».

В рамках первичной регистрации РАО, проведенной в 2013 году на площадке ФГУП «Ларс», пункт хранения жидких РАО (ПХ ЖРО) был отнесен комиссией к пункту долговременного хранения РАО (акт № 1-2.4/\_\_\_ от \_\_\_ \_\_\_\_\_ 20\_\_ г., утв. первым заместителем генерального директора Госкорпорации «Росатом»). Решение по отнесению РАО к особым или удаляемым РАО было отложено до 2024 года.

Неопределенный статус ПХ ЖРО не позволяет выполнить работы по удалению накопленных РАО и выводу их эксплуатации объекта.

Результаты ОМСН за период 2015-2022 гг. показывают, что в районе ПХ ЖРО наблюдается загрязнение подземных вод радионуклидами, поступающими из пункта хранения.

В 2022 году ФГУП «Ларс» был разработан проект выполнения опытных (исследовательских) работ по извлечению части накопленных РАО из ПХ ЖРО, полученные в ходе этих работ данные легли в основу настоящего обоснования.

Основанием для разработки настоящего обоснования послужило полное соответствие РАО, размещенных в пункте хранения ПХ ЖРО критериям отнесения к удаляемым РАО, утвержденным постановлением 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» (с изменениями и дополнениями от \_\_\_ \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.).

При подготовке обоснования использовалась «Методика определения состава затрат, связанных с удалением радиоактивных отходов (включая расходы на их извлечение, переработку, кондиционирование, перевозку к пункту захоронения и захоронение)» [ссылка], а также Пособие [ссылка].

Учеными действующие законодательные и нормативные документы, в том числе:

...

### **3.2 Краткая характеристика ПХРО**

Раздел обоснования должен содержать следующую информацию о ПХРО:

- «историческую справку» о ПХРО (год создания, назначение, основные вехи жизненного цикла: сроки размещения РАО, сроки проведения работ по консервации и т. д.),
- краткую характеристику места размещения объекта и сведения, описывающие современное состояние рассматриваемого объекта;
- основные характеристики накопленных РАО, использованные при подготовке обоснования;
- краткую выписку из последнего санитарно-эпидемиологического заключения об обеспечении радиационной безопасности ПХРО или ПХРО в составе ОИАЭ;
- основные преимущества отнесения РАО к особым или удаляемым РАО;
- другую важную с точки зрения отнесения размещенных в объекте РАО к особым или удаляемым РАО информацию.

При подготовке текста раздела рекомендуется использовать материалы отчета по обоснованию безопасности и/или проекта консервации объекта или удаления РАО.

### ***Краткая характеристика места размещения ПХРО и сведения, описывающие современное состояние рассматриваемого объекта***

В разделе должно быть представлено краткое описание места расположения ПХРО, содержащее краткие выводы по результатам мониторинга и радиационного контроля (в том числе ОМСН), описание состояния инженерных барьеров безопасности, например, краткие результаты последних КИРО, сведения о проведенных, проводимых и запланированных работах по реконструкции барьеров безопасности, сведения о разработанных проектах по консервации объекта, работах по удалению РАО и др.

#### ***Основные характеристики накопленных РАО***

Характеристики накопленных РАО, а также упаковок и контейнеров РАО, включая компаунд, — это информация, на основе которой выполняются все дальнейшие вычисления:

- качественный и количественный состав РАО (радионуклидный состав, суммарные и удельные активности радионуклидов, включая дочерние), содержание химических токсичных веществ;
- характеристики ТРО и отвержденных РАО, а также ЖРО (масса, объем, тепловые, гидравлические, химические и механические характеристики, содержание органических веществ);
- параметры, определяющие выход дозообразующих радионуклидов из РАО и ПХРО (растворимость радиоактивного содержимого РАО; скорость выщелачивания (выхода) радионуклидов и ее изменение со временем; скорость газообразования, объем и скорость выхода образующихся газов; скорость смыва радионуклидов с загрязненных поверхностей упаковок РАО (неупакованных РАО); характеристики, определяющие образование комплексных соединений, перенос радионуклидов в коллоидной форме, выпадение в осадок и кристаллизацию РАО).

В качестве источников информации, характеризующей РАО, могут выступать: журналы учета РАО, паспорта на упаковку (партию) РАО, формы оперативной и годовой отчетности СГУК РВ и РАО [103, 104], формы первичной регистрации РАО [24], отчеты о состоянии радиационной безопасности в организации, результаты КИРО, описание технологии, в результате которой образовались РАО, и другая имеющаяся документация.

Основной перечень данных, который может быть получен (в большинстве случаев, частично) в рамках предпроектных работ, к которым относится обоснование отнесения РАО к особым или удаляемым РАО, с указанием на возможные источники данных, представлен в таблице 3.2. Могут быть использованы и другие источники данных, имеющиеся в организации.

Отметим, что как показал практический опыт инвентаризаций и первичной регистрации РАО [8] для ряда объектов сбор сведений по каждой упаковке РАО или даже ячейке ПХРО не представляется возможным. Однако, для выполнения оценок долговременной безопасности объекта информация о радионуклидном составе РАО и их активности является основополагающей, наряду с данными о физико-химическом составе РАО (в особенности жидких) и буферного материала.

Поскольку после перевода пункта размещения особых РАО в пункт консервации особых РАО или в ПЗРО доступа к контейнерам/упаковкам РАО фактически не будет, крайне важно собрать максимальную информацию о самом объекте и РАО. В то же время, учитывая, что значительная часть РАО образовалась, была переработана и размещена в ПХРО до выхода современных требований к сбору и хранению информации о РАО, задача представляется достаточно сложной и может потребовать выполнения дополнительных обследований объектов.

Таблица 3.2 – Перечень данных по характеристикам накопленных РАО в ПХРО по отдельным емкостям ПХРО для выполнения оценок критерияльных показателей и оценок долговременной безопасности ПХРО

№ Емкости/ячейки ПХРО	МАЭД, мсв/час	Плотность потока радона, Бк/(м <sup>3</sup> ·с)	р/н в воздухе	Объемная активность р/н в воздухе, Бк/м <sup>3</sup>	Упаковка		Код РАО/ Код типа РАО*	Количество РАО в упаковке	Р/н РАО	Активность р/н, Бк	Дата измерения активности	Химический ингридент						
					тип	Данные СГУК РВ и РАО						наименование ед. измерения	ед. измерения (объемная концентрация*)	концентрация (объемная концентрация*)	водородный показатель, рН*	общее содержание, г/л*		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
***	Отчет о радиационной безопасности, результаты КИРО и др.													Данные паспортов РАО, СГУК РВ и РАО, КИ-КИРО и др.	Данные паспортов РАО, СГУК РВ и РАО, КИ-КИРО и др.	Данные регистрационной регистрации РАО, КИРО или др.	Данные регистрационной регистрации РАО, КИРО или др.	Данные регистрационной регистрации РАО, КИРО или др.

Примечание:

\* – для емкостей ЖРО информация собирается отдельно для жидкой фазы, отдельно для твердой фазы;

\*\*\* – для ЖРО отдельно для твердой и жидкой фазы,

\*\*\*\* – для ОЗРН заполняется отдельно.

**Пример раздела «Краткая характеристика ПХРО» для ПХ ТРО АО «Магнит»:**  
Пункт хранения «ПХ ТРО» сооружен для захоронения РАО, проект АО «Миграция» № \_\_\_\_\_, 1953 г. Эксплуатация пункта хранения началась в 1955 г., дата окончания эксплуатации – 1992 г. Проведены работы по засыпке пункта хранения слоем грунта мощностью 0,7 м в 1992 г.

ПХ ТРО расположен в южной части промышленной зоны в 15 км от ближайшего населенного пункта, вне водоохраных зон и природоохранных объектов.

Глубина траншеи ПХ ТРО достигает 4 м, дно и боковые скосы покрыты противофильтрационным глиняным замком толщиной 0,5 м.

РАО содержат следующие радионуклиды: Sr-90, Cs-137, Pu-239 и др. РАО размещены в пункте хранения навалом, без упаковки.

Радиационная обстановка в районе размещения траншеи характеризуется типичными мощностями доз в интервале  $0,04 \div 0,18$  мкЗв/час [ссылка].

Анализ данных СГУК РВ и РАО [ссылка] позволил сделать следующие выводы:

· по уровню удельной активности РАО относятся к НАО и ОНРАО, согласно ПП №1069;

· в пункте хранения размещены: загрязненный грунт, изделия из полимеров, в том числе пластика, изделия из стекла и керамики, изделия из черных металлов, спецодежда и др.

В 2006 г. АО «Миграция» были выполнены КИРО пункта хранения, согласно которым суммарная активность по Cs-137 составляет  $2 \cdot 10^{12}$  Бк, по Sr-90 —  $1 \cdot 10^{12}$  Бк; по Pu-239 —  $7 \cdot 10^4$  Бк; по другим радионуклидам суммарно менее  $1 \cdot 10^{11}$  Бк. В ПХ ТРО размещено на хранение 25 тыс. м<sup>3</sup> РАО [ссылка]. Оценка состояния барьеров безопасности показала, что необходимо провести дополнительную гидроизоляция покрывающего экрана. В данный момент планируется начать разработку проекта консервации пункта хранения.

АО «Магнит» считает важным и обоснованным отнесение РАО, размещенных в пункте хранения ПХ ТРО, к особым РАО по следующим причинам:

1. Пункт хранения создавался именно как пункт захоронения в соответствии с действовавшими в те годы правилам. Прошедшие годы показали, что существующие барьеры безопасности обеспечивают приемлемый уровень безопасности.

2. С момента создания пункта хранения и в последующий период полное удаление РАО и ВЭ не рассматривались как вариант завершающей стадии жизненного цикла объекта. Проведение работ по удалению РАО сопряжено со значительными рисками, обусловленными дозовыми нагрузками на персонал (раздел 5.2 настоящего обоснования).

3. Признание пункта хранения пунктом размещения особых РАО позволит реализовать комплекс мер по консервации, который обеспечит безопасность на длительный период и в полной мере соответствует основным принципам радиационной защиты, поскольку обеспечивает более высокий уровень безопасности персонала, населения и окружающей среды при меньших рисках и затратах в сравнении с удалением РАО.

**Пример раздела «Краткая характеристика ПХРО» для ПХ ЖРО ФГУП «Ларс»:**  
Пункт хранения «ПХ ЖРО» сооружен для хранения жидких РАО, проект ВНИИАЭМ № \_\_\_\_\_, 1985 г. Эксплуатация пункта хранения началась в 1987 г., дата окончания размещения РАО – 2011 г. Планируемая дата окончания эксплуатации - 2023 год.

ПХ ЖРО расположен на промышленной площадке в 15 км от ближайшего населенного пункта, вне водоохраных зон и природоохранных объектов.



ПХ ЖРО выполнен в виде монолитного железобетонного сооружения с внутренней облицовкой 2-х емкостей из нержавеющей стали. Объем каждой емкости - 500 м<sup>3</sup>. Результаты ОМСН за период 2015-2022 гг. показывают, что в районе ПХ ЖРО наблюдается загрязнение подземных вод радионуклидами (<sup>60</sup>Со, <sup>54</sup>Мп), поступающими из пункта хранения.

В 2022 году ФГУП «Ларс» был разработан проект выполнения опытных (исследовательских) работ по извлечению части накопленных РАО из ПХ ЖРО, полученные в ходе этих работ данные легли в основу настоящего обоснования.

В настоящее время разработана концепция ВЭ всех объектов, размещенных на площадке ФГУП «Ларс», согласно которой планируется извлечение накопленных РАО и ВЭ пунктов их хранения, включая ПХ ЖРО.

Характеристики ЖРО, размещенных в ПХ ЖРО, приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Основные характеристики РАО, размещенных в ПХ ЖРО

№ Емкости/ячейки ПХРО	МА-ЭД, мкЗв/час	Плотность потока радона, Бк/(м <sup>2</sup> ·с)	р/н в воздухе	Объемная активность р/н в воздухе, Бк/м <sup>3</sup>	Упаковка	Код РАО/ Код типа РАО*	Количество РАО в упаковке		Р/н РАО	Активность р/н, Бк	Дата измерения активности	Химический ингредиент				
							м <sup>3</sup>	г				наименование	ед. измерения	концентрация (объемная концентрация*)	водородный показатель, рН*	общее содержание, г/л*
					тип											
1*	0,13	-	-	-	-	12412100	500	-	<sup>60</sup> Со	1,6 10 <sup>12</sup>	15/01/2013	-	-	-	11,3	1,243
									<sup>54</sup> Мп	0,2 10 <sup>12</sup>	15/01/2013					
2*	0,14	-	-	-	-	12412100	500	-	<sup>60</sup> Со, <sup>54</sup> Мп**	2,2 10 <sup>12</sup>	15/01/2013	-	-	-	-	-
Отчет о радиационной безопасности, результаты КИ-РАО и др.												Данные СГУК РВ и Данные КИРО				

Примечание: \* - Отсутствуют данные о донных отложениях

\*\* - Отсутствуют данные по каждому радионуклиду

ФГУП «Ларс» считает важным и обоснованным отнесение ПХ ЖРО к пункту хранения удаляемых РАО по следующим причинам:

1. Выполненные опытные (исследовательские) работы по удалению части жидких РАО продемонстрировали возможность безопасного извлечения РАО из ПХ ЖРО.

2. Выполненные оценки финансовых затрат на удаление РАО и ВЭ ПХ ЖРО показали, что данные работы сопровождаются более низкими затратами в сравнении с затратами на перевод объекта в ПЗРО (в случае отнесения РАО к особым РАО), которые также будут включать затраты на удаление жидких РАО, создание дополнительных барьеров безопасности и т.д.

3. Созданная в рамках опытных (исследовательских) работ инфраструктура может быть использована при выполнении работ по удалению РАО.

4. Удаление РАО из ПХ ЖРО позволит приступить к работам по выводу из эксплуатации объекта, что направлено на предотвращение загрязнения подземных вод в районе объекта.

### 3.3 Соответствие РАО критериям отнесения к особым РАО по происхождению и местоположению

Обоснование соответствия РАО критериям отнесения РАО к особым по происхождению и местоположению зависит от версии ПП №1069 на момент формирования документа. Ниже приведено два варианта формирования раздела.

#### Вариант 1

В действующей на 2022 год версии ПП №1069 [7], для отнесения отходов к особым РАО, они должны соответствовать одному из следующих требований *абзаца 1 п.1 Критериев*, устанавливающего критерии на их происхождение:

- образовались в результате выполнения государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа;
- образовались в результате использования ядерных зарядов в мирных целях;
- образовались вследствие ядерной и (или) радиационной аварии на объекте использования атомной энергии;<sup>2</sup>
- являются жидкими радиоактивными отходами, размещенными в поверхностном водоеме – хранилище РАО, общим объемом более 25000 м<sup>3</sup>, введенном в эксплуатацию до вступления в силу №190-ФЗ, а также донными отложениями таких водоемов-хранилищ.

Данный раздел обосновывающих материалов должен содержать обоснование соответствия местоположения ПХРО требованиям *подпункта в) пункта 1 Критериев*:

*«ПХРО и его СЗЗ размещены вне границ населенных пунктов, особо охраняемых природных территорий, прибрежных защитных полос и водоохраных зон водных объектов, других охранных и защитных зон, установленных в соответствии с законодательством Российской Федерации».*

В разделе **рекомендуется привести карту размещения ПХРО** (входит в пакет документов по проведению первичной регистрации РАО [24]), подтверждающую представленную информацию.

#### **Пример раздела «Соответствие РАО критериям отнесения к особым РАО по происхождению и местоположению» для ПХ ТРО АО «Маяк»:**

*Размещение РАО в пункте хранения ПХ ТРО было начато в 1955 году, окончание эксплуатации в 1992 г. РАО образовались в результате деятельности производств, участвовавших в разработке оружейного плутония.*

*Таким образом, РАО, размещенные в пункте хранения ПХ ТРО, соответствуют критерию отнесения РАО к особым РАО, предусмотренному абзацем 1 п.1 Критериев ПП №1069 [ссылка], а именно «к особым радиоактивным отходам относятся радиоактивные отходы, образовавшиеся в результате выполнения государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа...».*

*РАО, размещенные в ПХ ТРО, удовлетворяют критерию подпункта в) пункта 1 Критериев ПП-1069 [ссылка], см. карту расположения ПХ ТРО на рис. О.2.1, а именно:*

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

---

<sup>2</sup> Данному критерию соответствуют также РАО, образовавшиеся вследствие нарушения эксплуатации объекта использования атомной энергии, аварии на Чернобыльской АЭС и др. аварийных ситуаций.

## Вариант 2

В случае внесения изменений в ПП №1069, которые были подготовлены Ростехнадзором и Госкорпорацией «Росатом», для отнесения отходов к особым РАО, они должны будут соответствовать одному из следующих требований *абзаца 1 п.1 обновленной версии Критериев*. К особым РАО могут быть отнесены:

- 1) РАО, которые:
  - образовались в результате выполнения государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа;
  - образовались **при использовании атомной энергии** и ядерных зарядов в мирных целях;
  - образовались вследствие ядерной и (или) радиационной аварии на ОИАЭ,
  - включая ТРО, размещенные в приповерхностных хранилищах, и ЖРО, размещенные в поверхностных водоемах-хранилищах РАО общим объемом более 25000 м<sup>3</sup>, введенных в эксплуатацию до вступления в силу №190-ФЗ, и донные отложения таких водоемов-хранилищ;
- 2) РАО, образовавшиеся **при осуществлении деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов.**

Изменения коснутся и обоснования соответствия местоположения ПХРО требованиям *подпункта в) пункта 1 Критериев*. В новой версии он предложен в следующей редакции:

*«ПХРО и его СЗЗ размещены вне границ населенных пунктов, особо охраняемых природных территорий, прибрежных защитных полос и водоохраных зон водных объектов, других охранных и защитных зон, установленных в соответствии с законодательством Российской Федерации (за исключением ПХРО, введенных в эксплуатацию до вступления в силу нормативных правовых актов, устанавливающих такие границы)».*

### **Пример раздела «Соответствие РАО критериям отнесения к особым РАО по происхождению и местоположению» для ПХ ЖРО ФГУП «Ларс»:**

*РАО, размещенные в ПХ ЖРО, образовались при использовании атомной энергии.*

*Таким образом, РАО, размещенные в пункте хранения ПХ ЖРО, соответствуют критерию отнесения РАО к особым РАО, предусмотренному абзацем 1 п.1 Критериев ПП №1069 [ссылка], а именно «К особым радиоактивным отходам относятся радиоактивные отходы, образовавшиеся в результате... использования атомной энергии...».*

*РАО, размещенные в ПХ ЖРО, удовлетворяют критерию подпункта в) пункта 1 Критериев ПП-1069 [ссылка], см. карту расположения ПХ ЖРО на рис. О.2.1. ПХ ЖРО был введен в эксплуатацию в 1987 году, до вступления в силу нормативных правовых актов, устанавливающих границы и статус особо охраняемых природных территории (Постановление Правительства Российской Федерации от \_ июля 1992 г. № \_\_\_ «Об особо охраняемом эколого-курортном регионе Российской Федерации - \_\_\_»).*

## **3.4 Оценка принципиальной возможности локализации РАО в месте их размещения**

Согласно требованию п. 55 НП-058-14 [9] эксплуатирующая организация должна обосновать отнесение пунктов хранения РАО к отдельным типам, а накопленных отходов – к удаляемым или особым РАО.

Разработка и реализация любых технических мер по обеспечению или повышению безопасности ПХРО могут выполняться на основе материалов ООБ, с учетом результатов фактического обследования объектов, в том числе КИРО, НИР и результатов оценки их безопасности, **включаяшей прогнозный расчет оценки долговременной безопасности системы размещения РАО**. Под системой понимается совокупность природного геологического образования, сооружений и оборудования ПХРО и размещенных РАО.

Данный раздел обоснования должен отразить тот факт, что существующие барьеры безопасности (либо барьеры безопасности, которые **могут быть созданы** при проведении работ по консервации пункта размещения особых РАО или переводу в ПЗРО), в соответствии с проведенными оценками миграции радионуклидов из ПХРО, обеспечат безопасность населения и окружающей среды на весь период потенциальной опасности РАО. Другими словами, должны быть представлены результаты предварительного обоснования долговременной безопасности объекта (в условиях отсутствия проекта консервации или проекта перевода в ПЗРО).

При выполнении обоснования долговременной безопасности объекта должны быть приняты во внимание не только накопленные РАО, но и РАО, которые планируется разместить в ПХРО. Кроме этого, согласно НП-055-14 [30]: *«При прогнозировании радиационного воздействия на население должен учитываться вклад всех систем размещения (захоронения) РАО, оказывающих влияние на радиационное воздействие на население»*. Очевидно, что эти два требования могут повлечь за собой необходимость не только пересмотра уже выполненных оценок долговременной безопасности объектов, но также и разработки новых моделей площадок размещения объектов для оценки миграции радионуклидов.

В случае, если уже выполнены работы по консервации ПХРО, в разделе приводятся краткие результаты оценки его долговременной безопасности.

Ниже приведены рекомендации и допущения, которые могут быть использованы при выполнении оценок долговременной безопасности ПХРО в рамках обоснований отнесения РАО к особым или удаляемым РАО, в случае отсутствия расчетов миграции радионуклидов из ПХРО.

Руководство по безопасности РБ-117-16 [55] содержит рекомендации по выполнению оценки долговременной безопасности приповерхностных ПЗРО (ППЗРО). Отметим, что в полном объеме выполнить требования РБ-117-16 при обосновании отнесения РАО к особым или удаляемым РАО не только не требуется, но и не представляется возможным, ввиду целого ряда факторов, одним из которых является отсутствие разработанных проектных решений по переводу ПХРО в пункт консервации особых РАО или ПЗРО.

В рамках обоснования отнесения РАО к особым оценка долговременной безопасности может быть выполнена на основе **консервативного подхода**, при котором разрабатываются сценарии и модели, а также используются значения параметров и исходных данных, заведомо приводящие к наибольшему воздействию на население и окружающую среду. Согласно, п. 16 РБ-117-16 *«данный подход целесообразно применять на начальных этапах жизненного цикла ППЗРО, с целью обоснования концепции обеспечения безопасности..., при недостаточности исходных данных и параметров»*.

По результатам оценки долговременной безопасности должно быть обосновано, что *«радиационное воздействие на работников (персонал), население и окружающую среду при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации не приводит к превышению допустимого уровня облучения работников (персонала) и населения...»*.

### **Критерии безопасности и расчетные величины**

Подробно информация о выборе критериев безопасности и расчетных величин представлена в разделе 2.2.

Отметим только, что в рамках обоснования в качестве количественных мер радиационного воздействия ПХРО на население могут быть использованы годовая индивидуальная эффективная доза облучения критической группы населения, получаемая по различным путям переноса радионуклидов в окружающей среде, а также значения обобщенного риска облучения населения.

В качестве основного максимально консервативного критерия безопасности может быть использован предел дозы для населения – 10 мкЗв/год, установленный для ПЗРО в ОСПОРБ-99/2010 [38].

В качестве промежуточных результатов прогнозного расчета оценки долговременной безопасности ПХРО могут использоваться значения удельных активностей радионуклидов в подземных водах, которые следует сопоставлять с уровнями вмешательства (УВ), установленными в НРБ-99/2009 [37].

Ограничение риска потенциального облучения для населения, который определяется как произведение вероятности события, приводящего к облучению и вероятности смерти, связанной с облучением, установлено в НРБ-99/2009 [37] и составляет  $1,0 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>.

Как уже отмечалось в разделе 2.2, согласно НП-055-14 [30]:

*«ПЗРО (ПГЗ ЖРО) удовлетворяет требованиям безопасности в период после его закрытия, если при нормальном (эволюционном) протекании естественных процессов в районе размещения ПЗРО (ПГЗ ЖРО) (вероятных сценариях эволюции системы захоронения РАО) предусмотренная в проекте ПЗРО (ПГЗ ЖРО) система барьеров безопасности обеспечивает прогнозируемое радиационное воздействие на население за счет захораниваемых РАО не более 0,3 от основного предела дозы облучения населения, установленного в соответствии с законодательством Российской Федерации в области обеспечения радиационной безопасности. При прогнозировании радиационного воздействия на население должен учитываться вклад всех систем размещения (захоронения) РАО, оказывающих влияние на радиационное воздействие на население».*

Кроме этого, в качестве возможных изменений ОСПОРБ-99/2010 [38], предлагается установить следующее требование для захоронения РАО: *«средняя за 5 последовательных лет годовая эффективная доза облучения критической группы населения при всех видах обращения с РАО после их захоронения не должна превышать 0,3 мЗв».*

Отметим, что в случае превышения критерия безопасности в 10 мкЗв/год для населения, согласно принятому в настоящем Пособии подходу, потребуется выполнять оценки коллективных эффективных доз облучения населения.

### **Варианты развития событий и процессов**

Научно-технические основы обоснования долговременной безопасности ПХРО приведены в главе 2. Ниже приведены краткие практические рекомендации по формированию вариантов развития событий и процессов.

Расчеты миграции из ПХРО рекомендуется выполнять для базового варианта (*вариант 1*), в рамках которого принимается, что захоронение РАО на месте предусматривает создание дополнительных барьеров безопасности.

Для *варианта 1* согласно принятому подходу [2] может быть предусмотрена разработка сценариев эволюции объекта в объеме, достаточном для проведения оценки долговременной безопасности, а именно сценария нормальной эволюции. Кроме этого, целесообразна разработка и альтернативных сценариев, включая сценарий вторжения человека в систему размещения РАО. В Приложении 5 приведен пример формирования сценариев эволюции пункта хранения ТРО для варианта 1.

Согласно РБ-117-16, сценарий нормальной эволюции системы захоронения РАО должен описывать наиболее вероятное протекание природных процессов в ходе эволюции системы и предполагать выполнение барьерами объекта функций безопасности в соответствии с проектом консервации пункта размещения особых РАО или перевода в ПЗРО и постепенное снижение защитных, прочностных и изолирующих свойств инженерных барьеров безопасности со временем. Альтернативные сценарии должны учитывать маловероятные (катастрофические) внешние воздействия природного и техногенного характера на площадке размещения ПЗРО и внутренние воздействия, включая непреднамеренное вторжение человека в систему захоронения РАО. Сценарии должны быть основаны на качественном анализе событий, явлений и факторов природного и техногенного происхождения, физико-химических процессов, определяющих эволюцию системы размещения РАО (см. раздел 2.3, а также НП-064-17 [31]).

В ряде случаев эксплуатирующей организацией может быть принято решение о необходимости обоснования крайних сроков проведения работ по консервации потенци-

ального пункта размещения особых РАО или удалению РАО. Для этих целей может быть также разработан *вариант 2*, предполагающий отказ от выполнения работ по повышению безопасности объекта (*захоронение РАО на месте «как есть»*). Рассмотрение данного варианта позволяет оценить «запас времени» для принятия решения о заключительной стадии жизненного цикла объекта. Для *варианта 2* целесообразно ограничиться разработкой только сценария нормальной эволюции (альтернативные сценарии не разрабатываются), т. к. вероятность развития событий по варианту «как есть» предполагается невысокой.

### ***Критическая группа населения***

Подробно информация о выборе критической группы представлена в разделе 2.2. Отметим коротко, что в рамках обоснования отнесения РАО к особым расчет дозовых нагрузок на население осуществляется на основе расчета доз для выбранной критической группы населения<sup>3</sup>. Критическая группа населения выбирается из лиц, проживающих в одном из ближайших населенных пунктов, на основе анализа и выявления критических путей, через которые радионуклиды из ПХРО достигают этой группы населения, а также дозовых оценок на различные группы населения.

Для сценариев вторжения человека в систему захоронения РАО в качестве критической группы, подвергающейся наибольшему облучению при непреднамеренном вторжении, рассматривается человек из группы рабочих, непосредственно проводящих буровые/земляные работы на покрывающем экране ПХРО.

### ***Значимые периоды времени при выполнении оценки долговременной безопасности ПХРО***

Прогнозные расчеты миграции радионуклидов целесообразно ограничивать **периодом**, после которого дозовое воздействие РАО на население при естественной эволюции объекта **перестанет возрастать или будет ниже установленного критерия**. Этот период, в большинстве случаев, не превысит 1–10 тыс. лет. Оценка долговременной безопасности на большие периоды сопряжена со значительными неопределенностями, связанными с изменением климата, рельефа местности, поверхностной гидросети, деятельностью человека и другими естественными процессами, протекающими на Земле, в том числе и в районе расположения ПХРО. Однако, в рамках обоснования отнесения РАО к особым, даже в случае, если потребуется выполнить расчеты миграции на более длительные периоды времени, эти факторы могут не рассматриваться.

### ***Оценка нерадиационных характеристик РАО при захоронении РАО в месте их нахождения***

Подробно о роли нерадиационных характеристик РАО при их захоронении в месте нахождения обсуждается в разделе 2.6.

Раздел 3 обоснования рекомендуется дополнить кратким обоснованием возможности захоронения РАО в месте их нахождения с учетом таких характеристик РАО, размещенных в ПХРО, как:

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

---

<sup>3</sup> Возможно, что в скором времени в соответствии с рекомендациями МКРЗ (Публикация 103) [185] расчет будет необходимо производить для референтного человека, что упрощает задачу. Такие поправки в отечественные нормативные акты подготовлены.

В случае наличия такого рода «проблемных» факторов, связанных с необходимостью предусмотреть в проекте консервации особых РАО или ПЗРО дополнительные средства поддержанию ПХРО в безопасном состоянии, рекомендуется дать краткую информацию о них, а также ссылки на заключения о безопасности хранения РАО по указанным выше факторам.

### ***Предварительное определение СЗЗ ПЗРО***

В связи с большими периодами потенциальной опасности РАО, зачастую значительно превышающими прогнозируемый период функционирования эксплуатирующей организации, необходимо предусмотреть вариант отдельного установления границ СЗЗ для ПХРО, в том числе в целях исключения несанкционированного доступа, проведения работ внутри СЗЗ, которые могут привести к дополнительному облучению населения.

Проект СЗЗ должен учитывать радиационные, физические (не радиационные) и химические факторы воздействия на население («Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ»). СП 2.6.1.2216-07 [105]).

Соблюдение гигиенических нормативов на внешней границе проектируемой СЗЗ подтверждаются результатами проведенных оценок миграции.

### ***Пример раздела «Оценка принципиальной возможности локализации РАО в месте их размещения» для ПХ ТРО АО «Магнит»:***

*Предварительное обоснование безопасности окончательного захоронения ТРО в ПХ ТРО выполнено АО «Миграция», результаты представлены в отчете [ссылка].*

*Многолетние исследования, проведенные в рамках эксплуатации ПХ ТРО [ссылка], подтверждают, что гидрогеологические условия района расположения объекта допускают создание барьеров безопасности, обеспечивающих локализацию подавляющей части активности РАО [ссылка].*

*В ходе выполненного в 2014 г. КИРО ПХ ТРО проведено обследование условий размещения ТРО [ссылка].*

*Материалами проекта консервации доказана возможность локализации РАО на весь период потенциальной опасности: «Проектом предусматривается создание многослойного покрывающего экрана...».*

*АО «Миграция» с использованием аттестованного программного средства \_\_\_\_\_ были проведены консервативные оценки долговременной безопасности объекта, включая величины облучения населения ближайшего населенного пункта (пос. Цветочек), расположенного в 15 км от ПХ ТРО. Были созданы физические и гидрогеологические модели места размещения ПХ ТРО и проведена схематизация расчета миграции из ПХ ТРО основных компонентов-загрязнителей, проведены прогнозные расчеты (с использованием программы «\_\_\_\_\_») выноса из ПХ ТРО радионуклидов на период до 1000 лет, что соответствует периоду потенциальной опасности РАО.*

*В ходе работы расчет средней годовой эффективной дозы облучения населения, осуществлялся с применением разработанных моделей миграции радионуклидов и сценария формирования облучения населения, который предполагает формирование доз за счет ведения натурального хозяйства и потребления загрязненных радионуклидами продуктов питания (овощи, мясо, молоко, колодезная питьевая вода). Результаты расчета показывают, что в случае захоронения РАО в месте их нахождения в течение всего периода потенциальной опасности отходов повышенные концентрации радионуклидов и повышенные дозовые нагрузки на население в месте нахождения ближайшего поселения достигаться не будут [ссылка].*

*Более того, показано, что в контрольных точках, расположенных в 50 м (для плутония-239) и не более 500 м (для стронция-90 и цезия-137) ниже по потоку подзем-*

ных вод не прогнозируется превышения значений 0,1 от уровней вмешательства ни по одному компоненту-загрязнителю в течение всего прогнозного срока.

Принципиальная возможность локализации обеспечивается.

При разработке проекта консервации пункта размещения особых РАО предусмотрено установить границы санитарно-защитной зоны пункта консервации особых РАО, которые определяться исходя из требования ограничения облучения населения (установленная для этого объекта квота предела годовой дозы 10 мкЗв/год).

Физико-химические характеристики РАО, размещенных в ПХ ТРО известны. В составе РАО отсутствуют: ядерные материалы, вещества, реагирующие с водой с выделением теплоты и образованием горючих газов, образующие комплексные соединения, взрывоопасные и самовозгорающиеся вещества, а также ядовитые химически токсичные вещества, патогенные и инфекционные.

В отношении содержания взрывоопасных веществ имеется заключение ЗАО «Безопасность».

В РАО возможно газовыделение, в отношении которого проектом консервации будут предусмотрены необходимые меры по газоотведению.

### **Пример раздела «Оценка принципиальной возможности локализации РАО в месте их размещения» для ПХ ЖРО ФГУП «Ларс»:**

Предварительные оценки долговременной безопасности ПХ ЖРО были выполнены АО «Миграция» в ходе обоснования отнесения РАО к удаляемым РАО. Расчеты выполнялись с использованием аттестованного программного средства \_\_\_\_\_.

Результаты расчета средних удельных активностей на выходе из ближней зоны ПХ ЖРО для варианта 1 (предусматривающего создание покрывающего экрана) и варианта 2 (без покрывающего экрана) представлены на рисунках \_\_\_\_\_. Для короткоживущих нуклидов ( $^{60}\text{Co}$  и  $^{54}\text{Mn}$ ) максимальные удельные активности на выходе из ближней зоны в варианте 2 на порядок больше, чем в варианте с покрывающим экраном, однако представляют пренебрежимо малые величины.

Результаты расчета удельных активностей радионуклидов для накопленных РАО в ПХ ЖРО показывают, что они сопоставимы с «нулевой» удельной активностью во всех расчетных точках. Индивидуальные дозы для населения, проживающего на расстоянии 250 м от ПХ ЖРО (расчетная точка соответствует границе СЗЗ организации), составляют пренебрежимо малую величину для всех рассмотренных радионуклидов на весь период моделирования [ссылка].

Принципиальная возможность локализации обеспечивается.

Физико-химические характеристики РАО, размещенных в ПХ ЖРО известны. В составе РАО отсутствуют: ядерные материалы, вещества, реагирующие с водой с выделением теплоты и образованием горючих газов, образующие комплексные соединения, взрывоопасные и самовозгорающиеся вещества, а также ядовитые химически токсичные вещества, патогенные и инфекционные.

## **3.5 Формирование двух вариантов обращения с РАО**

### **Определение периода потенциальной опасности РАО для оценки критериальных показателей и формирования двух вариантов обращения с РАО**

Для обоснования отнесения РАО к особым или к удаляемым РАО требуется заполнить оценки критериальных показателей за весь период потенциальной опасности РАО для двух вариантов обращения с ними: захоронение РАО в месте их нахождения и удаление РАО с последующим ВЭ ПХРО.

Согласно принятому подходу [2-4] для РАО, содержащих смесь короткоживущих радионуклидов (включая  $^{137}\text{Cs}$ ), период их потенциальной опасности ( $T$ ) оценивается как срок, по истечении которого сумма отношений удельных активностей радионуклидов



( $YA_i(T)$ ) в РАО к их предельным значениям ( $ПЗУА^{пред}$ ), установленным ПП №1069, не будет превышать 1, т.е.:

$$\sum_i \frac{YA_i(T)}{ПЗУА_i^{пред}} \leq 1. \quad (3.1)$$

Оценка удельной активности  $i$ -го радионуклида спустя период времени  $t$  ( $YA_i(t)$ ) определяется по формуле:

$$YA_i(t) = YA_{i0} \cdot \exp\left(-\frac{t \cdot \ln 2}{T_{1/2}^i}\right), \quad (3.2)$$

где  $T_{1/2}^i$  – период полураспада  $i$ -го радионуклида;  
 $YA_{i0}$  – начальная удельная активность  $i$ -го радионуклида.

Отметим, что в рамках отчетности СГУК РВ и РАО вместо значений ПЗУА для ТРО используются значения удельной активности радионуклидов, при которых допускается неограниченное использование материалов (приложение 3 к ОСПОРБ-99/2010 [38]), для ЖРО – 0,1 от значения ПЗУА [7]. Для РАО, размещенных в ПЗРО, применение значений, установленных для неограниченного использования материалов, никак не обосновано и является чрезмерно консервативным.

Для РАО, **содержащих долгоживущие радионуклиды**, для оценки критериальных показателей целесообразно установить **расчетный период** – максимальный срок, в течение которого пункт консервации особых РАО будет переведен в ПЗРО, при этом будет доказано, что проведение периодического радиационного контроля либо не понадобится, либо он будет очень низко дозо- и финансово- затратным.

Максимальная длительность расчетного периода для **РАО, содержащих техногенные долгоживущие радионуклиды, устанавливается равной – 1000 лет, для содержащих природные долгоживущие радионуклиды – 300 лет**. Данное ограничение периода потенциальной опасности РАО связано с тем, что за указанный расчетный период произойдет радиоактивный распад всех короткоживущих радионуклидов, а в рамках эксплуатации пункта консервации особых РАО станет возможно:

- доказательство нахождения долгоживущих радионуклидов с низкой миграционной способностью ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  и др.), в ограниченном ореоле пункта консервации особых РАО;
- точное определение параметров миграции иных долгоживущих радионуклидов, в том числе  $^{14}\text{C}$  и  $^{36}\text{Cl}$ ;
- определение надежности инженерных барьеров ПЗРО.

В качестве обоснования такого подхода следует привести следующие доводы:

- особенности миграции долгоживущих радионуклидов, таблица 3.4. Для подавляющего большинства долгоживущих радионуклидов вынос активности за пределы ПЗРО в условиях полной деградации инженерных барьеров безопасности крайне мал или отсутствует для всех типов вмещающих сред, кроме песков, которые могут быть признаны достаточно неблагоприятными для создания пункта консервации особых РАО. Исключением является радионуклид  $^{36}\text{Cl}$ , выход которого за пределы ПЗРО возможен даже в глинах (на уровне 5% за 1000 лет);
- схожий уровень неопределенностей оценок долговременной безопасности, характерный и для варианта захоронения на месте и для варианта удаления и захоронения в специально созданном ПЗРО;
- принципиальная невозможность прогнозирования миграции природных радионуклидов на времена сопоставимые с возрастом планеты Земля;
- соответствие зарубежной практике обращения с РАО, содержащими природные радионуклиды.

Более детально обоснование подхода к определению расчетного периода приведено в работе [3].

Таблица 3.4 – Значения дополнительных коэффициентов  $K_m$  (отношение величины удельной активности на момент времени  $t$ , уменьшающейся за счет распада ( $K_{расп.}$ ), к удельной активности за счет распада и миграции) для различных вмещающих сред, рассчитанные с использованием программного комплекса MODFLOW [2]

Радионуклид	$T_{1/2}$ , лет	$t$ , лет	$K_{распад}$	$K_m$ для типов вмещающей среды			
				пески	супесь	суглинок	глина
$^{14}C$	5,73+03	500	1,06	7,19	1,31	1,02	1,0
		1000	1,13	14,4	1,70	1,09	1,0
$^{36}Cl$	3,01+05	500	1,0	111	9,26	2,25	1,02
		1000	1,0	186	18,2	3,29	1,05
$^{239}Pu$	2,41E+04	500	1,01	1,23	1,0	1,0	1,0
		1000	1,03	1,40	1,0	1,0	1,0
$^{241}Am$	4,32E+02	500	2,23	1,0	1,0	1,0	1,0
		1000	4,95	1,0	1,0	1,0	1,0
$^{238}U$	4,47E+09	500	1,0	1,32	1,01	1,0	1,0
		1000	1,0	1,72	1,05	1,0	1,0

Для природных (примордиальных) радионуклидов, к которым относятся  $^{235}U$ ,  $^{232}Th$  и  $^{238}U$ , предлагается в качестве периода потенциальной опасности рассматривать 300 лет, так как, согласно НРБ-99/2009, система ограничений природного излучения (раздел 5.3) отличается от ограничения техногенного облучения (разделы 1.4, 3.1 НРБ-99/2009). Международные рекомендации в этом отношении предлагают использовать в качестве критерия отнесения к РАО повышенные уровни удельной активности, характерные, например, для урановых месторождений, исходя из следующей логики:

- отходы, содержащие уран, не предполагаются для использования, и после консервации ПХ РАО практически не мигрируют за пределы барьеров;
- на территориях с повышенным радиационным фоном за счет пород, содержащих повышенные концентрации природных радионуклидов, природное облучение исключается из системы радиационной защиты, так как на него практически невозможно влиять;
- если по результатам многолетнего мониторинга после консервации ПХРО будет доказано, что установленные гигиенические нормативы в отношении радионуклидов, входящих в естественные ряды  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$  и  $^{235}U$ , соблюдаются, то это будет служить доказательством завершения периода потенциальной опасности.

Отметим, что **периоды, для которых будут выполняться оценки критериальных показателей, могут быть еще короче**, что связано с тем, что после закрытия ПЗРО или перевода пункта консервации особых РАО в ПЗРО, могут отсутствовать финансовые затраты и будет показано, что отсутствует радиационное воздействие на население и персонал.

### **Общие подходы и допущения**

При составлении последовательности работ по захоронению РАО в месте их нахождения или удалению РАО следует учитывать текущее состояние объекта, например:

- проводится размещение РАО;
- РАО не размещаются, планируется проведение консервации ПХРО;
- разработан проект перевода ПХРО в пункт консервации особых РАО;
- объект законсервирован (созданы дополнительные барьеры безопасности, установлен срок изоляции РАО от окружающей среды);
- и др.

При формировании вариантов обращения с РАО могут быть приняты следующие допущения:

– для выполнения оценок критериальных показателей для двух вариантов обращения с РАО требуется выделить только основные этапы обращения с накопленными РАО, которые будут сопровождаться радиационным воздействием на персонал и население, а также выделить основные статьи затрат. Очевидно, что полученные оценки будут носить предварительный характер и потребуют уточнения по мере получения новой информации об объекте (после выполнения обследований, разработки программы работ и т. д.). На этапе обоснования отнесения РАО к особым или удаляемым необходимо опираться на планы организации по дальнейшей эксплуатации объекта и опыт, полученный в ходе проведения аналогичных работ в отрасли;

– территория вокруг ПХРО должна быть реабилитирована как для варианта захоронения РАО на месте, так и для варианта удаления РАО;

– в ряде случаев, целесообразно рассмотреть вариант создания ПЗРО на территории эксплуатирующей организации (например, для ОНРАО).

– для ОНРАО может быть исключен этап переработки и кондиционирования;

– подготовительные этапы могут совпадать по срокам проведения работ для обоих вариантов обращения с РАО;

– целесообразно выбрать одну-две технологии переработки, позволяющие привести РАО в соответствие критериям приемлемости для захоронения;

– длительность отдельных этапов работ оценивается с учетом текущего состояния объекта, планируемых сроков окончания его эксплуатации, планов организации, объемов накопленных РАО, оценки трудозатрат на отдельные этапы работ и т. д.

Все допущения в расчетах должны быть выполнены с определенным, но разумным запасом<sup>4</sup>, имеющим цель получения консервативных оценок коллективных эффективных доз облучения и рисков потенциального облучения.

### **3.5.1 Вариант обращения с РАО при их захоронении в месте нахождения**

Отметим основные работы, которые должны быть выполнены эксплуатирующей организацией после отнесения объекта к пункту размещения особых РАО [26]:

– отнесение пункта размещения РАО к отдельному типу (промышленный водоем-хранилище ЖРО, хвостохранилище, емкости-хранилища ЖРО, хранилища ТРО, объекты мирных ядерных взрывов);

– установка и обоснование планируемого срока окончания размещения РАО, характеристики размещаемых РАО, технические решения по контролю поступающих РАО и др. (если размещение продолжается или планируется);

– оценка безопасности (текущего уровня и долговременной) и корректировка ООБ, в том числе с учетом размещаемых (планируемых к размещению) РАО;

– разработка программы перевода в пункт консервации особых РАО или ПЗРО, обоснование положений в ООБ;

– обследование объекта и оценка соответствия объекта установленным для ПЗРО требованиям безопасности;

– эксплуатация пункта размещения особых РАО: размещение РАО, мониторинг состояния системы размещения РАО и радиационный контроль, мониторинг окружающей среды, контроль технического состояния зданий, сооружений, систем (элементов) объекта, важных для безопасности;

– разработка и реализация мероприятий, направленных на обеспечение безопасности работников (персонала), населения и окружающей среды, представленные и обоснованные в проекте и (или) ООБ;

– разработка проекта перевода в пункт консервации особых РАО или ПЗРО, актуализация оценки безопасности и корректировка ООБ;

---

<sup>4</sup> Разумность допущений должна быть обоснована.

- получение лицензии на выполнение работ по переводу в пункт консервации особых РАО или ПЗРО;
- реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектом перевода пунктов размещения особых радиоактивных отходов (ПРО-РАО) в пункты консервации особых радиоактивных отходов (ПКОРАО) или ПЗРО;
- разработка программы перевода пункта консервации особых РАО в ПЗРО, обоснование положений в ООБ;
- повторное обследование объекта и актуализация оценки соответствия объекта установленным для ПЗРО требованиям безопасности, актуализация оценки безопасности, корректировка ООБ;
- перевод в ПЗРО, если по результатам обследования и оценки соответствия, установлено, что пункт консервации особых РАО удовлетворяет требованиям безопасности, предъявляемым к ПЗРО;
- разработка и реализация технических решений и организационных мероприятий по продлению срока эксплуатации пункта консервации особых РАО, по окончании которого должно быть проведено повторное обследование и оценка его соответствия требованиям безопасности, предъявляемым к ПЗРО, если по результатам обследования и оценки соответствия, установлено, что пункт консервации особых РАО не удовлетворяет требованиям безопасности, предъявляемым к ПЗРО [30]. Отметим, что в разделе 2.7 представлена подробная информация о разработке программы перевода в ПЗРО.

Отметим только, «на плечи» эксплуатирующей организации ложится ответственность по разработке и реализации программы перевода объекта в ПЗРО, периодическому обследованию объекта, периодическому пересмотру обоснования безопасности пункта размещения и консервации особых РАО, с учетом как результатов обследований, так и проводимых на объекте работ (размещению РАО и др.).

Приведенные ниже варианты перевода пунктов размещения особых РАО в ПЗРО разработаны для разных типов объектов, в соответствии с требованиями ФНП [9, 26, 28-36], санитарных правил в области обеспечения радиационной безопасности [37, 38], рекомендаций Росгидромета в части выполнения оценок воздействия на объекты биоты и др., а также опыта выполнения работ, полученного в ходе реализации мероприятий ФЦП ЯРБ-2 [106-110]. Отметим, что разработанные перечни работ носят общий характер, и могут сильно отличаться для разных типов пунктов хранения.

**Для пунктов размещения ТРО** основные этапы перевода в ПЗРО включают:

- проведение КИРО, разработка проектов консервации пунктов размещения особых РАО, разработка ООБ, включая обоснование долговременной безопасности, получение лицензий на выполнение работ;
- реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектом перевода ПРОРАО в ПКОРАО, включая:
  - 1) дополнительное заполнение пустот подземных частей пунктов хранения РАО буферным материалом,
  - 2) создание дополнительного покрывающего экрана,
  - 3) создание дополнительных барьеров безопасности типа «стена в грунте» (при необходимости);
- проведение радиационного контроля и проведение мониторинга пунктов консервации [26];
- оценки соответствия барьеров безопасности требованиям, установленным для ПЗРО (НП-103-17 [26], НП-055-14 [30], НП-058-14 [9]), разработка проектов реконструкции барьеров безопасности/перевода ПКОРАО в ПЗРО, разработка ООБ, включая актуализацию оценок долговременной безопасности [26];
- реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектами реконструкции барьеров безопасности/перевода в ПЗРО, передача объ-

ектов Федеральному государственному унитарному предприятию «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (ФГУП «НО РАО») [26].

Для **пунктов размещения ТРО (требующих удаления РАО из вспомогательных частей/пристроек/надстроек до проведения работ по консервации)** основные этапы перевода в ПЗРО включают:

- удаление упаковок с РАО (из вспомогательных частей/пристроек/надстроек), приведение их в соответствие критериям приемлемости для захоронения (при необходимости), транспортировка к ПЗРО и передача ФГУП «НО РАО» на захоронение;

- проведение КИРО, разработка проектов консервации пунктов размещения особых РАО, разработка ООБ, включая обоснование долговременной безопасности, получение лицензий на выполнение работ [26];

- реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектом перевода ПРОРАО в ПКОРАО, включая:

- 1) дополнительное заполнение пустот буферным материалом (при необходимости),

- 2) разбор вспомогательных частей/пристроек/надстроек,

- 3) создание покрывающего экрана,

- 4) создание дополнительных барьеров безопасности типа «стена в грунте» (при необходимости);

- проведение радиационного контроля и мониторинга пунктов консервации [26];

- оценки соответствия барьеров безопасности требованиям, установленным для ПЗРО (НП-103-17 [26], НП-055-14 [30], НП-058-14 [9]), разработка проектов реконструкции барьеров безопасности/перевода ПКОРАО в ПЗРО, разработка ООБ, включая актуализацию оценок долговременной безопасности [26];

- реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектами реконструкции барьеров безопасности/перевода в ПЗРО [26];

- передача объектов ФГУП «НО РАО».

Для **емкостей-хранилищ ЖРО** основные этапы перевода в ПЗРО включают:

- удаление жидкой фазы РАО, приведение ее в соответствие критериям приемлемости для захоронения, транспортировка к ПЗРО и передача ФГУП «НО РАО» на захоронение;

- проведение КИРО, разработка проектов консервации пунктов размещения особых РАО, разработка ООБ, включая обоснование долговременной безопасности, получение лицензий на выполнение работ [26];

- реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектом перевода ПРОРАО в ПКОРАО, включая:

- 1) омоноличивание твердой фазы РАО (перевод в стабильную твердую фазу [26]),

- 2) дополнительное заполнение пустот буферным материалом (при необходимости),

- 3) разбор части сооружения (например, наземного, при необходимости),

- 4) создание покрывающего экрана,

- 5) создание дополнительных барьеров безопасности типа «стена в грунте» (при необходимости);

- проведение радиационного контроля и мониторинга пунктов консервации [26];

- оценки соответствия барьеров безопасности требованиям, установленным для ПЗРО (НП-103-17 [26], НП-055-14 [30], НП-058-14 [9]), разработка проектов реконструкции барьеров безопасности/перевода ПКОРАО в ПЗРО, разработка ООБ, включая актуализацию оценок долговременной безопасности [26];

- реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектами реконструкции барьеров безопасности/перевода в ПЗРО [26];

- передача объектов ФГУП «НО РАО».

Для **промышленных водоемов-хранилищ ЖРО и хвостохранилищ (с созданием покрывающего экрана)** основные этапы перевода в ПЗРО включают:

– проведение КИРО, разработка проектов консервации пунктов размещения особых РАО, разработка ООБ, включая обоснование долговременной безопасности, получение лицензий на выполнение работ [26];

– реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектом перевода пункта размещения особых РАО в пункт консервации особых РАО (с созданием покрывающего экрана), которые могут включать:

1) удаление жидкой фазы РАО (в ряде случаев с откачкой части иловых отложений), приведение ее в соответствие критериям приемлемости для захоронения (при необходимости, транспортировка к ПЗРО и передача ФГУП «НО РАО» на захоронение,

2) удаление водного слоя (барьера безопасности) при необходимости,

3) укрепление откосов (ограждающих дамб) сооружения для обеспечения их долговременной устойчивости [26],

4) создание противофильтрационных и противомиграционных экранов [109] (при необходимости),

5) создание покрывающего экрана для защиты от ветровой эрозии, изоляции РАО от инфильтрации атмосферных осадков,

6) демонтаж оборудования и рекультивация поверхности полос отчуждения под транспортные коммуникации, разбор наземных сооружений (при наличии);

– проведение радиационного контроля и мониторинга пунктов консервации [26];

– оценки соответствия барьеров безопасности требованиям, установленным для ПЗРО (НП-103-17 [26], НП-055-14 [30], НП-058-14 [9]), разработка проектов реконструкции барьеров безопасности/перевода ПКОРАО в ПЗРО, разработка ООБ, включая актуализацию оценок долговременной безопасности [26];

– реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектами реконструкции барьеров безопасности/перевода в ПЗРО [26];

– передача объектов ФГУП «НО РАО».

**Конечные состояния объектов** – пункты приповерхностного захоронения ТРО.

Требованиями ФНП предусмотрен перевод пункта размещения особых РАО в пункт консервации особых РАО или в ПЗРО, в случае если он удовлетворяет требованиям к ПЗРО [26], однако, для ряда объектов выполнение требований, таких как, например, обеспечение защиты от водной и ветровой эрозии или изоляции РАО от инфильтрации атмосферных осадков, могут быть технически сложно выполнимыми и требующими больших финансовых затрат (например, для промышленных водоемов-хранилищ ЖРО, таких как В-10 и В-11 ФГУП «ПО «Маяк»). В то же время для этих объектов может быть обеспечена безопасная эксплуатация до снятия их с регулирующего контроля (в течение периода потенциальной опасности РАО). Другими словами, это объекты, обеспечивающие безопасное размещение РАО в течение всего срока их эксплуатации, но которые не будут переведены в ПЗРО.

Для таких **объектов, содержащих РАО, период потенциальной опасности которых позволяет отказаться от перевода в ПЗРО**, основные этапы жизненного цикла могут включать:

– проведение КИРО, разработка ООБ, включая обоснование долговременной безопасности, получение лицензий на выполнение работ по повышению безопасности объектов [26];

– реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектом повышения безопасности объектов, которые могут включать:

1) укрепление откосов (ограждающих дамб) сооружения для обеспечения их долговременной устойчивости (для **промышленных водоемов-хранилищ ЖРО** [26]),

2) создание дополнительных противофильтрационных и противомиграционных экранов [109] (при необходимости),

3) демонтаж оборудования и рекультивация поверхности полос отчуждения под транспортные коммуникации, разбор наземных сооружений (при наличии для **промышленных водоемов-хранилищ ЖРО и хвостохранилищ**),

4) создание сети мониторинга и радиационного контроля;

- проведение радиационного контроля и мониторинга объектов [26];
- разработка проектов реконструкции барьеров безопасности, разработка ООБ, включая актуализацию оценок текущей и долговременной безопасности [26];
- реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектом повышения безопасности объектов;
- реализация организационных мероприятий для снятия объекта с регулирующего контроля по причине естественного распада радионуклидов.

**Конечное состояние объекта** — объект снят с регулирующего контроля.

Длительность отдельных этапов работ должна указываться на основании проекта консервации пункта хранения радиоактивных отходов (ПХРО), в случае его наличия, либо оценочно. При формировании обоснования отнесения РАО к особым могут быть сделаны допущения, например:

- срок службы вновь создаваемых барьеров безопасности, в случае если проект консервации объекта не разработан, может быть принят до 300 лет;
- реконструкция барьеров безопасности может быть проведена несколько раз (для объектов, содержащих РАО с периодом потенциальной опасности до нескольких тысяч лет);
- после распада «легкомигрирующих» радионуклидов до уровней ниже ПЗУА [7] проводятся работы по переводу в ПЗРО.

### **3.5.2 Вариант обращения с РАО при их удалении**

Неопределенности при выборе технологии извлечения и переработки РАО при разработке последовательности работ по варианту удаления РАО не должны стать препятствием для подготовки обосновывающих материалов [2].

Согласно принятому и согласованному со всеми заинтересованными сторонами подходу [2-4] для обоснования отнесения РАО к особым достаточно, чтобы затраты, связанные с удалением РАО, превышали затраты, связанные с захоронением РАО в месте их нахождения, а значит полная оценка затрат на удаление РАО для большинства объектов может не потребоваться. Таким образом, в рамках разработки последовательности выполнения работ по обращению с удаляемыми РАО не требуется чрезмерная детализация технологии работ. Например, для оценки доз при удалении РАО не требуется описывать технические подробности, достаточно указать, что будет применяться специальная техника и меры защиты персонала. Для оценок рисков потенциального облучения важны только два обстоятельства: наличие данных по объему и активности незащищенных от воздействия окружающей среды «открытых» РАО (при рассмотрении в качестве исходного события смерча) и количество грузоподъемных операций при обращении с переработанными РАО (при рассмотрении риска технологических аварий при погрузочно-разгрузочных работах).

Последовательность работ по удалению накопленных РАО должна содержать основные работы, которые, по мнению эксплуатирующей организации, должны быть выполнены для передачи накопленных РАО на захоронение и ВЭ ПХРО.

При формировании последовательности работ по удалению РАО необходимо учитывать текущее состояние объекта. В случае если проведена часть работ по консервации объекта, предполагается, что работы будут прекращены.

Приведенные ниже варианты удаления РАО разработаны для разных типов объектов, в соответствии с требованиями федеральных норм и правил в области обеспечения безопасности при эксплуатации пунктов хранения удаляемых РАО и особым РАО, а также при обращении с твердыми РАО [9, 26]. Отметим, что разработанные перечни работ носят общий характер, и должны быть скорректированы с учетом особенностей объектов.

Для **пунктов размещения ТРО** к основным этапам работ по удалению РАО могут быть отнесены следующие:

- проведение КИРО, разработка проекта/регламента работ по извлечению РАО;
- удаление РАО из наземных частей, приведение их в соответствие критериям приемлемости для захоронения (при необходимости);
- проведение подготовительных работ (например, монтаж передвижных каркасно-тентовых ангаров, установка оборудования и т. д.);
- вскрытие покрывающего экрана (при необходимости);
- извлечение ЖРО, переработка на станции очистки спецстоков (при необходимости);
- извлечение ТРО, приведение РАО в соответствие критериям приемлемости (вскрытие упаковок с РАО; сортировка; кондиционирование; паспортизация), транспортировка к ПЗРО и передача ФГУП «НО РАО» на захоронение;
- выполнение КИРО пунктов хранения РАО; разработка проекта ВЭ; получение лицензии на ВЭ; получение санитарно-эпидемиологического заключения; реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектом ВЭ; проведение заключительного обследования; обращение с РАО, образующихся при ВЭ.

**Конечное состояние объекта** — РАО извлечены, переработаны и размещены в централизованном ПЗРО, ПХРО выведен из эксплуатации, территория реабилитирована.

Для **емкостей-хранилищ ЖРО** к основным этапам работ по удалению РАО могут быть отнесены следующие:

- проведение КИРО, разработка проекта/регламента работ по извлечению РАО;
- проведение подготовительных работ (например, монтаж передвижных каркасно-тентовых ангаров, установка оборудования и т. д.);
- вскрытие покрывающего экрана (при необходимости);
- удаление жидкой фазы РАО, приведение ее в соответствие критериям приемлемости для захоронения (отверждение/очистка), транспортировка к ПЗРО и передача ФГУП «НО РАО» на захоронение;
- размытие и удаление твердой фазы РАО, приведение ее в соответствие критериям приемлемости для захоронения (отверждение), транспортировка к ПЗРО и передача ФГУП «НО РАО» на захоронение;
- выполнение КИРО пунктов хранения РАО; разработка проекта ВЭ; получение лицензии на ВЭ; получение санитарно-эпидемиологического заключения; реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектом ВЭ; проведение заключительного обследования; обращение с РАО, образующихся при ВЭ.

**Конечное состояние объекта** — РАО извлечены, переработаны и размещены в централизованном ПЗРО, ПХРО выведен из эксплуатации, территория реабилитирована.

Для **промышленных водоемов-хранилищ ЖРО и хвостохранилищ** основные этапы перевода в ПЗРО включают:

- проведение КИРО, разработка проекта/регламента работ по извлечению РАО;
- проведение подготовительных работ (например, сооружение станции водоочистки, насосной станции, площадки для переработки РАО и др.);
- удаление водного слоя (барьера безопасности) при необходимости;
- удаление ЖРО, приведение их в соответствие критериям приемлемости для захоронения (отверждение/очистка), транспортировка к ПЗРО и передача ФГУП «НО РАО» на захоронение;
- размытие и удаление РАО (иловых отложений), приведение их в соответствие критериям приемлемости для захоронения (отверждение), транспортировка к ПЗРО и передача ФГУП «НО РАО» на захоронение;
- реабилитация прилегающей территории (при необходимости), извлечение и переработка РАО, приведение их в соответствие критериям приемлемости для захоронения, транспортировка к ПЗРО и передача ФГУП «НО РАО» на захоронение;



– выполнение КИРО ПХРО; разработка проекта ВЭ; получение лицензии на ВЭ; получение санитарно-эпидемиологического заключения; реализация технических решений и организационных мероприятий, предусмотренных проектом ВЭ; проведение заключительного обследования.

**Конечное состояние объекта** — РАО извлечены, переработаны и размещены в централизованном ПЗРО, ПХРО выведен из эксплуатации, территория реабилитирована.

### 3.6 Оценка коллективных эффективных доз облучения

#### *Общие подходы и допущения*

Подход к выполнению оценки коллективной эффективной дозы облучения основывается на следующих допущениях:

- коллективные эффективные дозы облучения персонала и коллективные эффективные дозы облучения населения рассчитываются раздельно;

- коллективная эффективная доза облучения за период потенциальной опасности РАО,  $S(T)$ , определяется как сумма коллективных доз внешнего,  $S_{i,внеш}$  и внутреннего облучения,  $S_{i,внут}$ ;

- для обоснования отнесения РАО к особым РАО достаточно, чтобы коллективная эффективная доза облучения персонала для ряда работ по удалению РАО достоверно превышала полученную оценку коллективной эффективной дозы облучения персонала, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения;

- в целях убедительного доказательства безопасности при отнесении РАО к особым РАО рекомендуется проводить консервативную (завышенную) оценку дозы облучения для варианта захоронения РАО в месте их нахождения. Например, путем использования верхних оценок трудозатрат при выполнении отдельных операций и радиационной обстановки на рабочих местах (МАЭД и т. д.);

- принимается, что на любом этапе обращения с РАО соблюдение установленных дозовых ограничений для персонала достигается на основе эксплуатационных требований, а не путем сменности 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»;

- для проведения оценки коллективной эффективной дозы облучения персонала могут использоваться:

- а) технологические данные и результаты оценки индивидуальных доз персонала, содержащиеся в проекте консервации ПХРО (ожидаемые индивидуальные дозы, численность персонала, трудозатраты на проведение отдельных работ, МАЭД в местах проведения работ и т. д.), при их наличии;

- б) регламенты проведения аналогичных работ на данном объекте, данные КИРО и результаты индивидуального дозиметрического контроля персонала группы А, задействованного в этих работах (форма № 1-ДОЗ);

- в) данные и результаты, полученные в рамках выполнения аналогичных работ на других ПХРО или предприятиях отрасли;

- оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала не выполняется, если значение МАЭД в месте проведения работ не превышает  $3 \cdot 10^{-4}$  мЗв/ч [38] за вычетом природного фона, и объемные активности радионуклидов в воздухе рабочей зоны не превышают уровней для населения, установленных НРБ-99/2009 (приложение 2, колонка 7 [38]). Например, разработка программы работ по консервации, разработка проекта работ, в том числе отчета по обоснованию безопасности, получение лицензии не сопровождаются дозозатратами персонала;

- оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения, проводится для всех работ, на которых формируется доза персонала;
  - для аналогичных работ, предусмотренных в альтернативных вариантах обращения с РАО (захоронение на месте и удаление РАО), принимается, что значения коллективных эффективных доз облучения персонала совпадают. Например, работ по проведению КИРО, удалению части РАО (например, ЖРО), реабилитации территории и др.;
  - при проведении оценки коллективной эффективной дозы облучения персонала не требуется чрезмерная детализация работ, предлагается рассматривать несколько наиболее дозозатратных операций. Например, для варианта удаления РАО: извлечение РАО, переработка РАО и кондиционирование РАО, паспортизация упаковок, транспортировка к ПЗРО;
  - оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала при удалении РАО прекращается, как только полученная величина превысит оценку коллективной эффективной дозы облучения, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения. Для большинства ПХРО при обосновании отнесения РАО к особым нет необходимости выполнять полную оценку коллективной эффективной дозы облучения персонала для варианта удаления РАО;
  - если имеющиеся в наличии у организации данные позволяют выполнить оценки коллективных доз облучения различными способами, то рекомендуется провести сравнение полученных результатов и экспертным путем принять решение о результатах оценки. Например, если полученные оценки различаются между собой в несколько раз, то в качестве результирующей оценки предлагается использовать среднее геометрическое имеющихся значений коллективной дозы;
  - оценка коллективной эффективной дозы облучения населения не выполняется в случае, если показано, что не будет превышен критерий безопасности – 10 мкЗв/год. С учетом современных данных о средних дозах облучения жителей в регионах присутствия предприятий Госкорпорации «Росатом» (в том числе предприятий, на которых проводятся работы по обращению с РАО) [111], результатов работ по обращению с накопленными РАО в рамках мероприятий ФЦП ЯРБ и ФЦП ЯРБ-2, можно сделать вывод, что при подавляющем числе работ по обращению с РАО (захоронении на месте или удалении РАО) дозы облучения населения не будут определяться инструментально [112].

### **3.6.1 Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения**

Методические приемы расчета составляющих коллективной дозы облучения выбираются с учетом основных путей формирования индивидуальных доз, а также радиометрической и дозиметрической информации, полученной в ходе радиационного контроля и мониторинга или созданной на основе разумных консервативных предположений.

Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения, проводится согласно разработанному варианту захоронения РАО в месте их нахождения.

В случае если разработан проект консервации ПХРО, рекомендуется использовать данные проекта (ожидаемые индивидуальные дозы, численность персонала, трудозатраты на проведение отдельных работ, МАЭД в местах проведения работ и т. д.), с указанием соответствующего раздела проекта консервации ПХРО. Для последующих этапов работ, в том числе по реконструкции барьеров безопасности, переводу в ПЗРО ниже представлен подход к проведению оценок дозозатрат персонала.

В случае если проект консервации ПХРО не разработан, то рекомендуется проводить оценки дозозатрат, основываясь на разработанном сценарии проведения работ по за-

хоронению РАО в месте их нахождения, опыте организации, полученном при проведении работ на территории ПХРО и при аналогичных работах на других объектах.

Не рекомендуется дробить укрупненные этапы на мелкие работы, описывать технические подробности, так как не разработан проект консервации объекта, не утверждены технологии консервации и т. д. Подходы к проведению оценок по отдельным этапам приведены ниже.

Первым шагом оценки является выделение этапов работ по консервации ПХРО, которые сопровождаются радиационным воздействием на персонал.

Вторым шагом является оценка трудозатрат для выделенных этапов.

Третьим шагом является сбор данных о радиационной обстановке в месте проведения работ: среднее значение МАЭД в месте проведения работ, объемные активности радионуклидов в воздухе в месте проведения работ и др. Все данные заносятся в таблицу, содержащую также ссылки на их источники (в качестве примера см. таблицу 3.5). Рекомендуется разбить таблицу по этапам захоронения РАО в месте их нахождения.

Таблица 3.5 – Пример формирования таблицы, содержащей исходные данные, используемые при проведении оценки коллективной эффективной дозы персонала

№ этапа, параметра	Наличие в документации данных по:	Размер мер-ность	Обо-значе-ние	Вели-чина	Источник данных/ Коммен-тарии
1.1.	Площадь территории, на которой требуется провести КИРО	$m^2$	$P$		...
1.2.	Средняя МАЭД на территории про-ведения КИРО	$мкЗв/ч$	$R$		...
1.3.	Трудозатраты при проведении КИ-РО	$чел.-ч$	$T_j$		...
...	Плотность потока радона на j-ом этапе работ	$Бк/м^3$ $c)$	$R$		Заполняется только для радоноопасных объектов
...	Объемная активность радона в воз-духе на территории проведения j-го этапа работ	$Бк/м^3$	$q_{jn}$		Используется только для потенциально радоноопас-ных объектов. Среднее зна-чение измерений радона.
...	Трудозатраты на j-м этапе работ	$чел.-ч$	$T_j$		-
...	Трудозатраты на j-м этапе работ (со-гласно сценарию) в условиях интен-сивного пылеобразования	$чел.-ч$	$T_j'$		Заполняется только для ситуаций, в которых невоз-можно предотвращение ингаляционного поступления
...	МАЭД в месте проведения j-го этапа работ	$мкЗв/ч$	$P_j$		-
...	Планируемые дозозатраты на j-м этапе работ	$чел.-мЗв$	$S_j$		Ожидаемая коллективная доза облучения, согласно проекту консервации
...	Объемная активность в воздухе k-го радионуклида в месте проведения j-го этапа работ	$Бк/м^3$	$q_{kj}$		$k=1,2,...t$
...	Коэффициент эффективности сред-ства индивидуальной защиты	$b/p$	$z$		Паспорт СИЗ
4.1.	Средняя годовая индивидуальная доза внешнего и внутреннего облу-чения персонала, задействованного при проведении работ по радиаци-онному контролю на объекте, по данным ЕСКИД	$мЗв/го$ $d$	$E_d$		Форма № 1-ДОЗ. Данные усреднены за последние 5 лет.
4.2.	Численность персонала, выполняю-щего радиационный контроль на объекте	$чел/год$	$T_d$		...

На четвертом шаге проводятся оценки коллективных эффективных доз облучения персонала и населения для каждого из выделенных этапов, результаты заносятся в таблицу (в качестве примера см. таблицу 3.6). Обоснование должно содержать краткие пояснения к каждой полученной величине.

Ниже в качестве примера приведены подходы к расчету коллективных эффективных доз облучения персонала при выполнении самых основных работ по консервации пункта размещения особых РАО: КИРО, подготовительные работы и консервация, эксплуатация пункта консервации особых РАО, реконструкция барьеров безопасности и перевод в ПЗРО.

Таблица 3.6 – Результаты оценки коллективной эффективной дозы облучения, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения

Этап	Наименование этапа (заполняется согласно сценарию захоронения РАО в месте их нахождения раздел 4.1. обоснования)	Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала, чел.·мЗв	Оценка коллективной эффективной дозы облучения населения, чел.·мЗв
Этап 1	Проведение КИРО		
Этап 2	Проведение подготовительных мероприятий.		
Этап 3	Проведение работ по консервации ПХ		
Этап 4	Эксплуатация пункта консервации особых РАО (мониторинг ПК РАО)		
Этапы 5...n	Работы по реконструкции барьеров безопасности		
Этап n+1	Перевод пункта консервации в пункт захоронения РАО		
Оценка коллективной эффективной дозы облучения, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения			

*Примечание: Разработка программы работ по консервации, разработка проекта работ, в том числе отчета по обоснованию безопасности, получение лицензии не сопровождаются дозозатратами персонала.*

### Этап 1. Проведение КИРО

#### Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала

В случае если в месте проведения работ значение МАЭД не превышает 0,3 мкЗв/ч за вычетом природного фона, и объемные активности радионуклидов в воздухе рабочей зоны не превышают установленные в приложении 2 НРБ-99/2009 уровни (колонка 7 [37]), коллективная эффективная доза облучения не оценивается, в таблице 3.6 в строке, соответствующей этапу «КИРО» указывается «0».

В случае если в месте проведения работ значение МАЭД превышает 0,3 мкЗв/ч за вычетом природного фона, либо объемные активности радионуклидов в воздухе рабочей зоны превышают установленные в приложении 2 НРБ-99/2009 уровни (колонка 7 [37]), коллективная эффективная доза облучения персонала ( $S$ , чел.·Зв) может быть оценена по формуле:

$$S = \sum_j \sum_k ((\epsilon_k \cdot q_{kj} \cdot (1-z) + \epsilon_{Rn} \cdot q_{Rnj} \cdot F) \cdot V_{неpc} + P_j) \cdot T_j, \quad (3.3)$$

где  $P_j$  – среднее значение МАЭД в месте проведения  $j$ -го этапа работ, Зв/ч;  $T_j$  – оценка трудозатрат на  $j$ -м этапе работ в условиях интенсивного пылеобразования, чел.·ч;

$\varepsilon_k$  – дозовый коэффициент для  $k$ -го радионуклида на единицу ингаляционного поступления (Приложение 1 НРБ-99/2009 [37] — столбец 4), Зв/Бк;  $q_{kj}$  – среднее значение измеренной объемной активности  $k$ -го радионуклида в воздухе, Бк/м<sup>3</sup>;  $V_{перс.}$  – стандартная скорость легочного обмена для персонала, 1,4 м<sup>3</sup>/ч;  $z$  – коэффициент эффективности средства индивидуальной защиты органов дыхания (данные паспорта СИЗ);  $\varepsilon_{Rn}$  – дозовый коэффициент на единицу ингаляционного поступления эквивалентной равновесной объемной активности,  $0,7 \cdot 10^{-8}$  Зв/Бк;  $q_{Rnj}$  – среднее значение измеренной объемной активности радона в воздухе, Бк/м<sup>3</sup>;  $F$  – фактор сдвига равновесия между радонам и ДПР, оценивается по результатам совместных измерений объемной активности радона и дочерних продуктов распада радона в контрольных точках (при отсутствии таких результатов принимается равным 0,4 [8]).

Если регламентом проведения работ предусмотрены мероприятия пылеподавления, использования средств индивидуальной защиты, достаточно оценить коллективную эффективную дозу облучения персонала за счет внешнего облучения. При наличии качественного обоснования оценка коллективной эффективной дозы облучения может быть выполнена по формуле:

$$S = \sum (P_j \cdot T_j). \quad (3.4)$$

Для оценки трудозатрат при проведении КИРО ( $T_{киро}$ ) могут быть использованы данные таблицы 3.7.

Таблица 3.7 – Консервативная оценка общих трудозатрат при проведении КИРО ( $T_{киро}$ )<sup>5</sup>

$T_{киро}$ , чел.·ч	Площадь территории (П), м <sup>2</sup>		
	до $10^4$	от $10^4$ до $5 \cdot 10^4$	свыше $5 \cdot 10^4$
без измерений радона	42	$3,6 \cdot 10^{-3} \cdot П$	$3,3 \cdot 10^{-3} \cdot П$
с измерением радона (только для потенциально радоноопасных объектов)	57	$5,1 \cdot 10^{-3} \cdot П$	$4,3 \cdot 10^{-3} \cdot П$

<sup>5</sup> Оценка общих трудозатрат на проведение КИРО:

$$T_{киро} = T_{гр} + T_{ппр} + T_{рао} + T_{инж.}$$

где,  $T_{гр}$  – трудозатраты на радиационную гамма-съемку с целью составления картограмм МАЭД, чел.·ч:

- до 12 ч чел.·ч при площади П менее  $10^4$  м<sup>2</sup>;
- $6 \cdot 10^{-4}$  П чел.·ч при площади П от  $10^4$  до  $5 \cdot 10^4$  м<sup>2</sup>;
- $3 \cdot 10^{-4}$  П чел.·ч при площади П свыше  $5 \cdot 10^4$  м<sup>2</sup> [186];

$T_{ппр}$  – трудозатраты на измерения плотности потока радона (ППР) и объемной активности радона, чел.·ч. Измерения проводятся только в случае потенциальной радоноопасности в месте нахождения РАО, содержащих альфа-излучающие радионуклиды (плотность потока радона, R, свыше 1,0 Бк/(м<sup>2</sup>·с)). В пределах площади пункта хранения РАО рекомендуется проводить измерения R и объемной активности радона,  $q_{Rn}$ , в контрольных точках: 15 точек на  $10^4$  м<sup>2</sup> при П до  $5 \cdot 10^4$  м<sup>2</sup> и 10 точек на  $10^4$  м<sup>2</sup> при П свыше  $5 \cdot 10^4$  м<sup>2</sup> [186]. При ориентировочной длительности измерений в 1 контрольной точке 1 ч, трудозатраты,  $T_{ппр}$ , составят:

- до 1,5 чел.·ч при площади П менее  $10^4$  м<sup>2</sup>;
- $1,5 \cdot 10^{-3}$  П чел.·ч при площади П от  $10^4$  до  $5 \cdot 10^4$  м<sup>2</sup>;
- $1,0 \cdot 10^{-3}$  П чел.·ч при площади П свыше  $5 \cdot 10^4$  м<sup>2</sup>;

$T_{рао}$  – трудозатраты на проведение геофизических исследований, дозиметрических и спектрометрических измерений с целью оценки объемов накопленных РАО, их удельной и суммарной активности, радионуклидного и химического состава, агрегатного состояния:  $2,0 \cdot 10^{-3}$  П, чел.ч;

$T_{инж.}$  – трудозатраты на проведение инженерного обследования, включающего инструментальную оценку технического состояния зданий и сооружений на момент проведения КИРО и технического состояния физических барьеров:  $1,0 \cdot 10^{-3}$  П, чел.·ч.

Полученная величина коллективной эффективной дозы облучения  $S_{\text{КИРО}}$  включается в таблицу 3.5 и сопровождается поясняющим текстом. Например:

*Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала получена исходя из площади территории, на которой будет проводиться КИРО, среднего значения МАЭД на территории проведения КИРО, с использованием [ссылка на Пособие]. Оценка предусматривает, что регламентом проведения работ по КИРО будет предусматриваться обязательное использование средств индивидуальной защиты органов дыхания персоналом.*

*При площади обследуемой территории менее 10 000 квадратных метров и средней мощности дозы порядка 0,18 мЗв/час, коллективная доза облучения персонала составит  $7,6 \cdot 10^3$  чел.Зв (7,6 чел. мЗв).*

#### **Оценка коллективной эффективной дозы облучения населения**

Для каждого этапа работ, для которого проводятся оценки коллективных эффективных доз облучения персонала, в тексте обоснования должны быть представлены оценки коллективных эффективных доз облучения населения (в том числе качественные оценки).

Например, для этапа выполнения КИРО, может быть указано:

*«Работы по проведению КИРО не предусматривают проведения работ, которые могут привести к дополнительному радиационному воздействию на население».*

В качестве оценки коллективной эффективной дозы облучения населения на этапе 1 (проведение КИРО) в таблице 3.6 указывается «0».

#### **Этап 2, этап 3. Проведение подготовительных мероприятий, проведение работ по консервации пункта размещения особых РАО**

##### **Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала**

При наличии проекта консервации ПХРО следует использовать приведенные в нем оценки трудозатрат и дозозатрат, которые заносятся в таблицу 3.6. В комментариях к таблице 3.6. приводится ссылка на раздел проекта консервации, в котором указано, например, что *«регламентом проведения работ по подготовительным мероприятиям будет предусматриваться обязательное использование средств индивидуальной защиты органов дыхания персоналом, поэтому оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала за счет ингаляционного поступления радионуклидов не проводится».*

При отсутствии проекта консервации ПХРО выполняется экспертная оценка трудозатрат, с учетом объема предстоящих работ, площади объекта и т.д., после чего выполняется оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала ( $S_{\text{конс}}$ ), с использованием подхода и формул, приведенных для этапа КИРО. Отметим, что средние значения удельных коллективных эффективных доз облучения персонала, задействованного в создании покрывающих экранов пунктов размещения особых РАО в большинстве случаев не превышают 0,002 чел.мЗв/(м<sup>3</sup> – строительных материалов), максимальные значения достигали 0,005 чел.мЗв/(м<sup>3</sup> – строительных материалов), минимальные составили около 0,0002 чел.мЗв/(м<sup>3</sup> строительных материалов).

Полученная величина коллективной эффективной дозы облучения  $S_{\text{конс}}$  включается в таблицу 3.6 и сопровождается поясняющим текстом. Например:

*«Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала при проведении подготовительных работ по консервации объекта получена на основе натурных измерений среднего значения МАЭД, объемной активности в воздухе на территории, а также при консервативных предположениях об отсутствии возможностей пылеподавления при проведении работ. Оценка предусматривает, что регламентом проведения работ по консервации будет предусматриваться обязательное использование средств индивидуальной защиты органов дыхания персоналом».*

### **Оценка коллективной эффективной дозы облучения населения**

**В случае если проект консервации разработан**, в обоснование дается ссылка на раздел проекта консервации, содержащий оценку воздействия на население при проведении работ по консервации ПХРО и после их завершения.

В случае если проект консервации **не разработан**, а при проведении работ по этапам 2 и 3 (подготовительные работы и консервация ПХРО) **не планируется проводить работы**, сопровождающиеся **интенсивным пылеобразованием**, в качестве оценки коллективной эффективной дозы облучения населения в таблице 3.6 указывается «0». В обосновании необходимо указать следующее:

*«Работы по проведению подготовительных работ и по консервации ПХРО не предусматривают проведения работ, которые могут привести к дополнительному радиационному воздействию на население, т.к. работы не связаны с пылеобразованием, а результаты расчета миграции, представленные в разделе 3 обоснования показывают, что в случае захоронения РАО в месте их нахождения в течение всего периода потенциальной опасности отходов, повышенные концентрации радионуклидов и повышенные дозовые нагрузки на население в месте нахождения ближайшего поселения достигаться не будут [ссылка]».*

Если при проведении работ по этапу 3 планируются **работы по частичному вскрытию барьеров безопасности, сопровождающиеся значительным пылеобразованием**, и не планируется проводить работы по пылеподавлению, а значение годовой индивидуальной дозы от техногенных радиоактивных веществ в воздухе для критической группы может превысить 10 мкЗв/год, выполняется оценка коллективной эффективной дозы облучения жителей, попадающих внутрь изодозы 10 мкЗв/год ( $n_i$  – в  $i$ -м населенном пункте), на основании оценки средней индивидуальной дозы облучения. Расчет проводится в 2 шага:

Шаг 1. Оценивается расстояние от ПХРО, на котором среднее значение годовой индивидуальной дозы от техногенных радиоактивных веществ в воздухе над рассматриваемой территорией для критической группы равно 10 мкЗв/год. Если оцененное расстояние не превышает расстояния от ПХРО до ближайшей точки на границе СЗЗ, то дальнейший расчет коллективной дозы населения не проводится. Например, консервативный расчет, выполненный в [2], показывает, что если граница СЗЗ находится на расстоянии 1 км от ПХРО, то удельная активность РАО, которая может привести к годовой дозе 10 мкЗв должна быть не менее  $10^6$  Бк/г по  $^{90}\text{Sr}$ ,  $10^7$  Бк/г по  $^{137}\text{Cs}$ ,  $10^3$  Бк/г по  $^{239}\text{Pu}$ . В случае если РАО имеют активности ниже указанных, то дальнейший расчет коллективной эффективной дозы населения не проводится.

Шаг 2. Составляется перечень населенных пунктов (с указанием численности жителей  $n_i$  – в  $i$ -м населенном пункте), попадающих внутрь изодозы 10 мкЗв/год.

Средняя концентрация от непрерывного точечного источника за длительный период времени определяется по формуле [113]:

$$\chi_{\text{сектор}} = (2/\pi)^{0.5} (0,01fQ' / [\sigma_z u (2\pi x/n)]), \quad (3.5)$$

где  $\chi_{\text{сектор}}$  – среднегодовая концентрация радионуклида в секторе, Бк/м<sup>3</sup>;

$f$  – повторяемость в процентах направления ветра данного сектора;

$Q'$  – скорость выделения радиоактивной пыли из точечного источника, Бк/с;

$u$  – средняя скорость ветра в направлении  $x$  (средняя измеряемая анемометром скорость ветра, м/с;

$x$  – расстояние от ПХРО до населенного пункта, м;

$(2\pi x/n)$  – ширина сектора для каждого из  $n$  секторов на расстоянии  $x$  от источника;

$\sigma_z$  – коэффициент вертикальной дисперсии, м.

Значения  $\sigma_z$  и соответствующие скорости ветра  $u$  для 6 типов турбулентности по Паскуиллу даны в [113]. В таблице 3.8 в качестве примера приведены значения  $\sigma_z$  для слабо неустойчивых условий турбулентности — категория С по Паскуиллу. В расчетах рекомендуется использовать значение  $u = 5$  м/с.

Таблица 3.8 – Параметры для расчета разбавления радиоактивной примеси

Расстояние от источника до населенного пункта, м	1000	3000	5000	10000
$\sigma_z$ , м	70	180	250	450

$$Q'[\text{Бк/с}] = A [\text{Бк/м}^3] u[\text{м/с}] S[\text{м}^2] = 10^{-4} q [\text{Бк/г}] 5 [\text{м/с}] 20[\text{м}^2] = 0,01 q [\text{Бк/г}]. \quad (3.6)$$

где  $A$  – объемная активность в пункте хранения, равная значению  $M$  из (3.7), деленному на  $2,4 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>/год, Бк/м<sup>3</sup>;

$q$  – удельная активность пыли в месте проведения работ, Бк/г;

$S$  – поперечное сечение радиоактивного пылевого клуба в месте проведения работ (условно принято равным  $20 \text{ м}^2$ ), м<sup>2</sup>.

Ингаляционное поступление радионуклидов в организм при выполнении работ, не связанных с интенсивным пылеобразованием, может быть оценено с помощью концепции «нагрузка по массе», которая связывает величину поверхностного загрязнения с концентрацией радиоактивного вещества в воздухе. Средняя концентрация радионуклида в воздухе определяется в предположении, что концентрация пыли (размер соответствует РМ<sub>10</sub>) в зоне дыхания составляет  $\varphi = 100$  мкг/м<sup>3</sup>. Тогда при объеме вдыхаемого воздуха на протяжении календарного года —  $2,4 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup> (для персонала) (или —  $8,1 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup> для населения) [38] и удельной активности пыли ( $q$ , Бк/г), годовое поступление ( $M$ , Бк/год) можно оценить по формуле:

$$M = 100 [\text{мкг/м}^3] 2,4 \cdot 10^3 [\text{м}^3/\text{год}] 10^{-6} [\text{г/мкг}] q [\text{Бк/г}] = 0,24 q \quad (\text{для персонала}). \quad (3.7)$$

Коллективная доза определяется простым суммированием доз на жителей по всем населенным пунктам:

$$S_{\text{нас}} = \Sigma (E_i \cdot n_i) \quad (3.8)$$

Полученная величина  $S_{\text{нас}}$  заносится в таблицу 3.6 как оценка коллективной эффективной дозы населения для этапа 3 и сопровождается текстом следующего содержания:

*«Оценка коллективной эффективной дозы облучения населения при проведении подготовительных работ и работ по консервации ПХРО получена, исходя из измерений объемной активности радионуклидов в воздухе над местом проведения будущих работ по частичному или полному вскрытию барьеров безопасности ПХРО. Оценка снижения концентрации в населенных пунктах проводилась с учетом их реального местоположения и местных метеорологических условий».*

#### **Этап 4 Эксплуатация пункта консервации особых РАО (мониторинг ПК РАО и проведение работ по радиационному контролю)**

##### **Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала**

Оценка коллективной эффективной дозы персонала ( $S_{\text{рк}}$ , чел.·мЗв) при проведении работ по радиационному контролю и мониторингу объекта после консервации или перевода в ПЗРО может быть выполнена по следующей формуле:

$$S_{\text{рк}} = E_d \cdot T_d \cdot N, \quad (3.9)$$

где  $E_d$  – средняя годовая индивидуальная доза внешнего и внутреннего облучения персонала, задействованного при проведении работ по радиационному контролю на объекте, по данным Единой системы контроля и учёта индивидуальных доз облучения граждан (форма № 1-ДОЗ), мЗв/год;

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

$N$  – расчетный период (административный контроль), лет.



Полученная величина  $S_{рк}$  заносится в таблицу 3.6 как оценка коллективной эффективной дозы персонала для этапа 4 и сопровождается поясняющим текстом. Например:

*«Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала при проведении мониторинга и радиационного контроля получена, исходя из данных индивидуального дозиметрического контроля персонала предприятия, задействованного на аналогичных работах, с учетом длительности этапа проведения работ, периодичности работ, согласно проекту консервации/разработанному сценарию захоронения РАО в месте их нахождения.»*

#### **Оценка коллективной эффективной дозы облучения населения**

На этом этапе коллективная эффективная доза облучения населения равна «0».

### **Этап 5, этап 6, ... этап n. Реконструкция барьеров безопасности, эксплуатации пункта консервации особых РАО. Этап n+1. Перевод пункта консервации в пункт захоронения РАО**

#### **Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала**

При проведении работ по реконструкции барьеров безопасности пункта консервации особых РАО (в случае если не предусмотрен перевод пункта размещения особых РАО в ПЗРО в один этап) делается консервативное допущение, что трудозатраты соответствуют трудозатратам на выполнение работ по консервации ПХРО, а величина МАЭД снижается за счет радиоактивного распада основных радионуклидов, содержащихся в РАО. Трудозатраты на перевод в ПЗРО составят 0,4 от трудозатрат работ по консервации пункта размещения особых РАО (если планируется проводить работы на объекте). Консервативная оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала может быть выполнена по формуле:

$$S_{ПЗРО} = \sum_n T_{конс.л} \cdot P_{конс.л} + 0,4 \cdot T_{конс} \cdot P_{ПЗРО} \quad (3.10)$$

где  $n$  – количество реконструкций барьеров безопасности;  $T_{конс}$  – трудозатраты на выполнение работ по консервации ПХРО;  $P_{конс.л}$  – значение МАЭД в месте проведения работ по  $n$ -ой реконструкции барьеров безопасности;  $P_{ПЗРО}$  – значение МАЭД при переводе пункта консервации особых РАО в ПЗРО.

Полученная величина  $S_{ПЗРО}$  заносится в таблицу 3.6 как оценка коллективной эффективной дозы персонала для этапов 5- $n+1$  и сопровождается поясняющим текстом. Например:

*«Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала при проведении работ по реконструкции барьеров безопасности, получена исходя из предположения о необходимости их выполнения каждые 100 лет в течение всего установленного расчетного периода – 1000 лет, после чего, будут выполнены работы по переводу пункта консервации в ПЗРО.»*

#### **Оценка коллективной эффективной дозы облучения населения после закрытия ПЗРО/перевода пункта консервации в ПЗРО**

Для варианта захоронения РАО на месте в качестве обоснования выполнения требования не превышения установленного значения средней годовой индивидуальной эффективной дозы облучения населения, выступают результаты долговременной оценки безопасности при нормальном (эволюционном) протекании естественных процессов в районе размещения объекта (раздел 3 обоснования «Оценка принципиальной возможности локализации РАО в месте их размещения»).

Очевидно, что при рассмотрении варианта удаления РАО эксплуатирующая организация не сможет предоставить обоснование долговременной безопасности ПЗРО, в котором эти отходы будут захоронены, равно как и выполнить оценку коллективной эффективной дозы облучения населения.

### 3.6.2 Оценка коллективной эффективной дозы облучения, связанной с удалением РАО

Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала, связанной с удалением РАО, проводится согласно разработанному сценарию удаления РАО.

Формируется и заполняется таблица, содержащая результаты оценки коллективной эффективной дозы облучения, связанной с удалением РАО (в качестве примера см. таблицу 3.9). Обоснование должно содержать пояснения к каждой приведенной в таблице величине.

Сначала в таблицу 3.9. вносятся результаты оценки коллективной эффективной дозы облучения, полученные для аналогичных этапов работ для варианта захоронения РАО на месте. Приводятся пояснения, что данные работы совпадают.

Как было сказано выше, при проведении оценки коллективной эффективной дозы облучения персонала не требуется чрезмерная детализация работ, предлагается рассматривать несколько наиболее дозозатратных операций:

- извлечение РАО из ПХРО и их входной контроль;
- транспортировка в специализированную организацию с дезактивацией и радиационным контролем автомобиля (а/м) и входным контролем РАО;
- кондиционирование РАО;
- паспортизация упаковок;
- транспортировка РАО к ПЗРО/передача на захоронение.

Из перечисленных выше операций, в случае если они предусмотрены сценарием удаления РАО, выбираются наиболее дозозатратные работы по обращению с РАО (например, извлечение РАО), для них выполняется оценка дозозатрат персонала. Проводится сравнение полученной величины с коллективной эффективной дозой облучения персонала, связанной с захоронением РАО в месте нахождения. Если критерий отнесения РАО к особым не соблюден, проводится оценка дозозатрат для следующего этапа обращения с удаляемыми РАО и т. д.

Для варианта обоснования отнесения РАО к особым оценка коллективной эффективной дозы облучения прекращается, как только полученная величина дозозатрат превысит оценку коллективной эффективной дозы облучения, связанной с захоронением РАО в месте их нахождения. Таким образом, таблица 3.9. может быть заполнена не полностью в отношении дозозатрат персонала.

Таблица 3.9 - Результаты оценки коллективной эффективной дозы облучения при проведении работ по удалению РАО, согласно разработанному сценарию

Этап	Наименование этапа	Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала, чел.-мЗв	Оценка коллективной эффективной дозы облучения населения, чел.-мЗв
Этап 1	Проведение КИРО		
Этап 2	Проведение подготовительных мероприятий		
Этап 3	Проведение работ по извлечению РАО из пункта хранения, их переработке, кондиционированию, паспортизации и транспортировке РАО		
Этап 4	Вывод из эксплуатации ПХ, реабилитация территории		
Оценка коллективной эффективной дозы облучения, связанной с удалением РАО			

### Этап 3. Проведение работ по извлечению РАО

Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала при проведении работ по обращению с РАО может проводиться на основе опыта организации по удалению РАО из аналогичных объектов, либо на основе данных о МАЭД в месте проведения работ и оценках трудозатрат при проведении работ в условиях повышенных МАЭД, согласно формуле (3.3).

Другой способ оценки коллективной дозы заключается в использовании в качестве значения средней годовой дозы персонала  $0,5 \cdot \text{КУ}$  – контрольного уровня, установленного администрацией предприятия для аналогичных работ, умноженного на численность персонала и на длительность этапа в годах.

Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала при проведении работ по обращению с РАО, может проводиться на основе опыта организации по переработке, кондиционированию и паспортизации РАО схожих характеристик, т. е. на основе данных индивидуального дозиметрического контроля персонала ЕСКИД (Форма № 1-ДОЗ), задействованного при проведении аналогичных работ.

Кроме этого, оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала при проведении работ по извлечению РАО может быть проведена на основе данных по удельным дозозатратам, полученным при проведении аналогичных работ на предприятиях отрасли (таблица 3.10). Для оценки конечного объема РАО после переработки, в таблице 3.11 приведены справочные данные по коэффициентам изменения объема для основных способов переработки РАО. При выполнении расчетов рекомендуется пользоваться характеристиками установок, которые находятся в организации.

Таблица 3.10 – Справочные данные по удельным эффективным коллективным дозам облучения персонала при обращении с отдельными видами РАО [114]

ТРО/ЖРО	Класс РАО	Тип операции	Средняя $S_{\text{н}}$ , чел.- мЗв/м <sup>3</sup>	Min $S_{\text{н}}$ , чел.- мЗв/м <sup>3</sup>	Max $S_{\text{н}}$ , чел.- мЗв/м <sup>3</sup>
Обращение с РАО					
ТРО	3, 4	Извлечение и входной контроль	0,072	0,002	0,090
		Сортировка	0,035	0,004	0,045
		Прессование	0,046	0,020	0,150
		Сжигание	0,057	0,023	0,100
		Цементирование	0,045	0,045	0,045
		Кондиционирование	0,045	0,009	0,110
		Паспортизация	0,002	0,001	0,003
		Погрузочно-разгрузочные работы и транспортировка на захоронение (на 1000 км)	0,045	0,025	0,070
Среднее значение при обращении			0,15		
ТРО (при условии автоматизированного процесса)	3	Извлечение и входной контроль	0,004	0,004	0,004
		Сортировка	0,004	0,004	0,004
		Кондиционирование	0,007	0,007	0,007
		Погрузочно-разгрузочные работы и транспортировка на захоронение (на 1000 км)	0,005	-	-
		Среднее значение при обращении с ТРО 3 и 4 класса)	0,02		
ТРО (содержат естественные радионуклиды)	4	Среднее значение при обращении	0,3		

ЖРО	солевой плав	Извлечение и входной контроль РАО	0,025	0,007	0,060
		Цементирование	0,040	0,015	0,09
		Паспортизация	0,002	0,000	0,006
		Погрузочно-разгрузочные работы и транспортировка на захоронение (на 1000 км)	0,009	0,003	0,020
		Среднее значение при обращении	0,064		
ЖРО	кубовый остаток	Обращение с кубовым остатком	0,07		
ЖРО	3 и 4	Извлечение и входной контроль	0,038	0,026	0,048
		Иониселективная очистка и кондиционирование	0,072	0,048	0,096
		Паспортизация	0,006	0,006	0,006
		Погрузочно-разгрузочные работы и транспортировка на захоронение (на 1000 км)	0,012	0,004	0,024
		Среднее значение при обращении	0,081		
ЖРО	Донные отложения водосмывохранилищ	Извлечение и входной контроль	0,1		

Таблица 3.11 – Коэффициенты изменения объема для разных способов переработки РАО [114]

Класс РАО	Способ переработки	Коэффициент изменения объема, б/р
2	Сортировка	1
	Измельчение, прессование	до 0,4
	Сжигание	до 0,01
	Цементирование	1,5-2
	Сорбционная очистка и цементирование	до 2,7
3-4	Прессование	до 0,35-0,4
	Сжигание	до 0,01
	Осушка отработанных ионообменных смол	0,8
	Отверждение ЖРО	до 3
	Глубокое упаривание	до 0,35
	Цементирование	1,5-2
	Измельчение	до 0,8
	Плавление	до 0,08

Если имеющиеся в наличии данные позволяют выполнить оценки коллективных доз различными способами, то рекомендуется провести сравнение полученных результатов и экспертным путем принять решение об оценке, которая будет занесена в таблицу 3.9. Например, если полученные оценки различаются между собой в несколько раз, то в качестве результирующей оценки предлагается использовать среднее геометрическое имеющихся значений коллективной дозы.

#### ***Коллективная эффективная доза облучения населения***

В обосновании должно содержаться положение, что при проведении работ по обращению с РАО воздействия на население не будет.

В случае если работы по вскрытию ПХРО, будут сопровождаться значительным палеобразовани­ем, то оценка коллективной эффективной дозы облучения населения проводится аналогично оценки при проведении работ по консервации ПХРО.

#### **Этап 4. Вывод пункта хранения из эксплуатации, реабилитация территории**

##### **1. Коллективная эффективная доза облучения персонала**

С учетом допущения, что все РАО, включая загрязненный выше уровня отнесения к РАО грунт, удалены. Оценка коллективной эффективной дозы облучения персонала проводится в случае, если территория размещения пункта хранения характеризуется повышенным МАЭД по формуле (3.3). Полученная величина заносится в таблицу 3.9.

##### **2. Коллективная эффективная доза облучения населения.**

Оценка коллективной эффективной дозы облучения населения не проводится, с учетом допущения, что все РАО, включая загрязненный выше уровня отнесения к РАО грунт, удалены. Работы проводятся в пределах СЗЗ организации при соблюдении всех федеральных требований. В качестве оценки коллективной эффективной дозы облучения населения на этапе в таблице 3.9 указывается «0».

### **3.7 Оценка рисков потенциального облучения**

#### **Общие подходы и допущения**

По результатам анализа изменений в нормативных документах, в том числе требований ФНП [31, 35], а также выполненных в ходе первичной регистрации РАО обоснований отнесения РАО к особым РАО, проведена актуализация подхода к выполнению оценки рисков потенциального облучения при обращении с накопленными РАО, а также принятых в рамках него основных допущений [2-4].

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

$$R_{OPAO} < R_{YPAO}, \quad (3.11)$$

где  $R_{OPAO}$  – риск потенциального облучения при захоронении РАО в месте их нахождения,  $R_{YPAO}$  – риск потенциального облучения, связанный с удалением РАО и захоронением в централизованном ПЗРО.

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<sup>-1</sup>; население –  $1 \cdot 10^{-5}$  год<sup>-1</sup> [37].

Потенциальное облучение определяется как облучение, 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 [37]. 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 3.12 приведен перечень нештатных событий и чрезвычайных ситуаций, наиболее часто встречаемых в обоснованиях отнесения РАО к особым, которые могут приводить к радиационным авариям. Он может быть расширен или сокращен с учетом состояния инженерных барьеров пунктов хранения радиоактивных отходов (ПХРО), характеристик РАО и т. д.).

При выполнении оценки риска потенциального облучения должен быть выполнен качественный анализ возможных аварийных ситуаций при проведении работ по двум разработанным вариантам обращения с РАО. Рекомендуется использовать материалы отчета по обоснованию безопасности (ООб) ПХРО или объекта использования атомной энергии (ОИАЭ), в состав которого он входит, или проект консервации ПХРО (в случае, если проект разработан), данные, полученные при определении категории потенциальной опасности радиационного объекта, и другие документы.

Таблица 3.12 – Варианты возможных аварийных ситуаций на разных стадиях обращения с РАО и источники данных

Внешние воздействия*	Источники данных	Технологические аварии			источники данных
		вариант захоронения на месте	источники данных	вариант удаления РАО	
Сейсмические воздействия	Карты общего сейсмического районирования территории Российской Федерации. Данные ООБ и др. См. рисунки 3.1 и 3.2	Нарушение целостности барьеров безопасности ПХРО (контейнеров, упаковок, гидроразделяющего слоя емкостей и др.)	Сведения ООБ, КИРО, данные инвентаризаций и первичной регистрации РАО и др. Сведения о характеристиках ИИБ (контейнерах, экранах ПХРО и др.)	Просыпания, разливы при извлечении РАО	Сведения ООБ, комплексного инженерного и радиационного обследования (КИРО), данные инвентаризаций и первичной регистрации РАО и др.
Пожар	Сведения о наличии в районе и на площадке размещения ОИАЭ в радиусе 2 км всех возможных наземных источников внешней пожарной опасности. См. Приложение №5 [31]. Метеорологические условия	Индустриальный пожар, самовозгорание РАО	Сведения ООБ, КИРО, данные инвентаризаций и первичной регистрации РАО и др.	Нарушения технологических регламентов при переработке и сжигании РАО	Сведения ООБ, КИРО, данные инвентаризаций и первичной регистрации РАО и др.

Продолжение таблицы 3.12

Внешние воздействия*	Источники данных	вариант захоронения на месте	источники данных	Технологические аварии	вариант улавления РАО	источники данных
<p>Экстремальные погодные условия (смерч, засуха (снижение уровня воды), наводнение и др.)</p>	<p>Топографические и климатические карты территории Российской Федерации за многолетний период климатических наблюдений, схема районирования территории бывшего Союза Советских Социалистических Республик (СССР) по смерчопасности масштаба 1:50 000 000. Исторические данные. Ресурсы поверхностных вод. Гидрологические ежегодники. Фондовые данные. Статистические данные, полученные обработкой гидрометеорологической информации в многолетнем разрезе (не менее 50 лет), содержащей ряды ежегодных значений параметров, а также сведения о выдающихся максимумам.</p> <p>См. Приложение №5 [31].</p> <p>Руководство по безопасности РБ-022-01 [116]. Результаты оценок ветровых нагрузок на сооружение.</p> <p>См. требования Строительных норм и правил 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия»</p>	<p>Внутреннее затопление (например, разрушение дамбы обваловки хвостохранилища)</p>	<p>Оценка размера вреда, который может быть причинен в результате аварии гидротехнического сооружения [115]. Оценка площади, которая подвергнется радиационному загрязнению и характеристикам загрязнения.</p> <p>Сведения ООБ, обоснование категории потенциальной радиационной опасности, КИ-РО, данные инвентаризаций и первичной регистрации РАО и др.</p> <p>Сведения о характеристиках инженерных изоляционных барьеров (ИИБ) (контейнерах, экранах ПХРО и др.)</p> <p>Данные ООБ</p>	<p>Нарушения работ механизмов при перемещениях РАО и погружении зочно-разгрузочных работах, транспортировке РАО</p>	<p>Архивные сведения о проведении аналогичных работ по обращению с РАО</p>	

Продолжение таблицы 3.12

Внешние воздействия*	Источники данных	Технологические аварии			источники данных
		вариант захоронения на месте	источники данных	вариант удаления РАО	
		Возникновение самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР)	Данные ООБ, инвентаризаций и первичной регистрации РАО и др.	Возникновение СЦР	Данные ООБ, инвентаризаций и первичной регистрации РАО и др.
Падение воздушного судна на объект	Карты, содержащие сведения о наличии аэропортов, расположении воздушных коридоров, пересечении воздушных маршрутов в районе размещения ОИАЭ. Данные о видах воздушного движения, типах летательных аппаратов и их характеристиках, частоте полетов. Архивные сведения об авиакатастрофах. См. Приложение №5 [31]	Аварии техники при выполнении работ на объекте	Архивные сведения о проведении аналогичных работ по обращению с РАО. Данные ООБ	-	-
<p>Примечания:  * – в течение всего периода потенциальной опасности РАО,  ** – в течение периода удаления РАО из места размещения в ПЭРО.</p>					



Для длительных этапов эксплуатации пунктов консервации особых РАО и ПЗРО (сотни лет) международными нормами предлагается к ситуациям потенциального облучения относить события, которые происходят с вероятностью 1 раз в 100 лет и ниже (менее  $10^{-2}$  год<sup>-1</sup>), на том основании, что более частые аварийные события и облучение от них должны рассматриваться в рамках планируемого облучения. Аварии с вероятностью от  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup> до  $10^{-2}$  год<sup>-1</sup> относятся к проектным авариям, от  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> до  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup> – к гипотетическим (следует учитывать при оценке риска), менее  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> (пренебрежимый риск, могут не приниматься во внимание при оценке рисков потенциального облучения). В рамках обоснования отнесения РАО к особым допускается, что после консервации ПРОРАО и захоронения РАО в централизованном ПЗРО риски потенциального облучения сопоставимы, на том основании, что объекты должны отвечать требованиям ФНП. Кроме этого, в рамках обоснования отнесения РАО к особым или удаляемым выполнить оценку риска потенциального облучения для РАО, размещенных в централизованном ПЗРО, не представляется возможным. Следовательно, для этапов после консервации ПРОРАО и передачи удаляемых РАО на захоронение в ПЗРО, оценки рисков потенциального облучения не проводятся:

а) для сравнительно краткосрочных работ (до нескольких лет) маловероятные внешние исходные события (менее  $10^{-4}$  год<sup>-1</sup>) могут не рассматриваться. В этом случае более важными с точки зрения формирования риска потенциального облучения являются технологические нарушения и технические отказы механизмов и транспортных средств;

б) если на границе СЗЗ индивидуальная годовая доза населения не превышает 10 мкЗв, и коллективная годовая доза будет менее 1 чел.-Зв в течение рассматриваемых периодов, оценкой воздействия на население и, следовательно, риска потенциально облучения можно пренебречь.

Стадия хранения накопленных РАО до завершения работ по консервации ПРОРАО или работ по удалению РАО в большинстве случаев может являться существенно более длительной, по сравнению с остальными. Следовательно, даже при малой вероятности событий, возникающий риск потенциального облучения, связанный с внешними воздействиями, может быть значимым и сопоставимым с другими рисками. Среди внешних воздействий могут рассматриваться засуха, смерч (например, для промышленных водоемов-хранилищ и хвостохранилищ), наводнение, сейсмическое воздействие и соответствующие последствия.

При значительных объемах РАО, должны быть оценены сроки выполнения работ по консервации ПРОРАО и удалению РАО, с учетом имеющихся мощностей по обращению с отходами, опыта выполнения работ на аналогичных объектах, полученного в ходе выполнения ФЦП ЯРБ-2 и непосредственно самой эксплуатирующей организацией. Возможны две ситуации. В первом случае, при значительных объемах накопленных РАО продолжительность работ по удалению может существенно (в 10–100 раз) превосходить вариант с консервацией. Во-втором случае, сроки работ по консервации и удалению могут быть приблизительно одинаковы. Для качественного 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 этого, в обоих вариантах работы осуществляются при частично или полностью вскрытых барьерах безопасности.

В рамках обоснования отнесения РАО к особым среди наиболее опасных внешних воздействий может рассматриваться: засуха, сопровождаемая сильным ветром; смерч; наводнение; пожар, вызванный падением летательного аппарата (только для ситуаций, при которых над объектом разрешены полеты) и др. Для оценки целесообразности рассмотрения таких стихийных ЧС, как смерч и землетрясение, могут использоваться данные по смерчопасности территорий и сейсмическому районированию [116, 117]. Например, на рисунках 3.1 и 3.2 приведены карты общего сейсмического районирования территории Российской Федерации с вероятностями возможного превышения указанных на них номиналов.

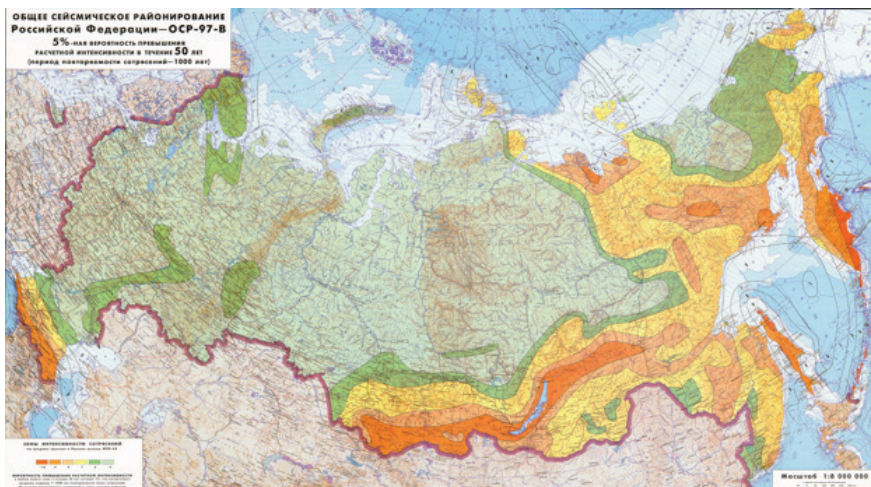


Рисунок 3.1 – Схема сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97-В [117]



Рисунок 3.2 – Схема сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСТ-97-Д

Ниже приведены краткие методики для оценки основных рисков потенциального облучения, которые могут быть использованы для целей настоящей работы, как связанных с внешними факторами, так и с технологическими авариями, используемые для обоснования отнесения РАО к особым и удаляемым. В рамках настоящей работы, помимо методик, изложенных в [2], предложено также проводить оценку рисков потенциального облучения, связанных с воздействием засухи на ПХРО и падением летательного аппарата.

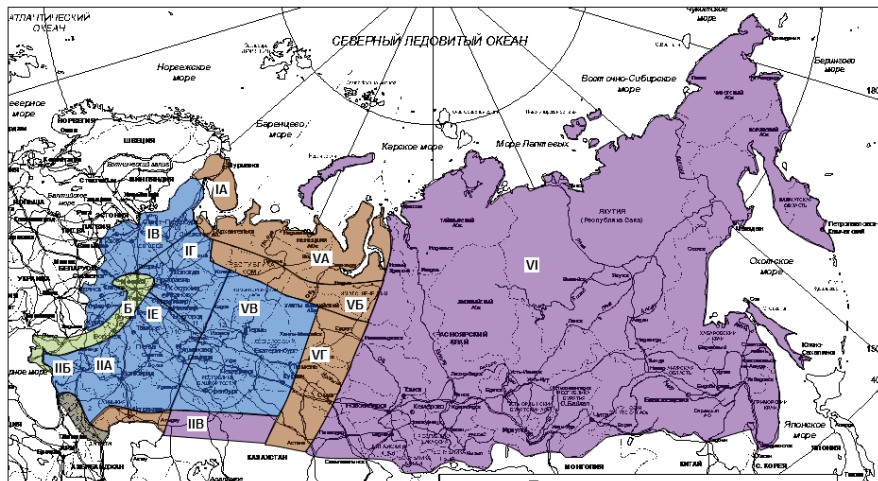
### **Возникновение смерча**

Для целей обоснования отнесения РАО к особым смерч определен как наиболее опасное явление. Для оценки последствий воздействия смерча на ПХРО и оценки риска

потенциального облучения можно воспользоваться руководством по безопасности «Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии, РБ-022-01» [116] (см. рисунок 3.3), которое устанавливает:

- рекомендации по оценке смерчеопасности территорий,
- рекомендации по составу расчетных характеристик смерчей и методике их определения,
- рекомендации по этапам получения расчетных параметров смерчей и подходам к выполнению этапов анализа смерчеопасности.

Принимается, что возникновение смерча целесообразно рассматривать для объектов, для которых не создан покрывающий экран, например, водоемы-хранилища ЖРО и хвостохранилища.



Примечание: 1 – зоны повышенной смерчеопасности; 2 – смерчеопасные районы; 3 – несмерчеопасные районы; 4 – малоизученные районы; 5 – горные районы

Рисунок 3.3 – Схема районирования территории бывшего СССР по смерчеопасности [116]

В рамках обоснования расчет обобщенного риска потенциального облучения для пунктов хранения РАО (приповерхностных водоемов-хранилищ ЖРО или хвостохранилищ) при прохождении смерча может быть выполнен по формуле (3.12):

$$R = \sum_i P \cdot S_{\text{вод.}} \cdot \left( \frac{A_i}{S_{\text{загр.}}} \right) \cdot N \cdot \varepsilon_{\text{внеш.}i} \cdot \varepsilon_D, \quad (3.12)$$

где  $P$  – вероятность возникновения смерча на единицу площади рассматриваемого района,  $1/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ ;

$S_{\text{вод.}}$  – площадь открытой части ПХРО,  $\text{м}^2$ ;

$A_i$  – суммарная активность  $i$ -го радионуклида, выносимая смерчем, Бк;

$S_{\text{загр.}}$  – площадь загрязненной территории,  $\text{м}^2$ ;

$\varepsilon_{\text{внеш.}i}$  – дозовый коэффициент внешнего облучения для  $i$ -го радионуклида,  $(\text{мЗв} \cdot \text{м}^2)/(\text{Бк} \cdot \text{ч})$  (см. таблицу ДЗ [118]);

$N$  – трудозатраты на ликвидацию загрязнения, чел. · год;

$\varepsilon_D = 5 \cdot 10^{-5}$  – коэффициент риска смерти в результате дополнительного облучения,  $1/(\text{чел.} \cdot \text{мЗв})$  [37].

### **Возникновение засухи (для приповерхностных водоемов-хранилищ ЖРО и хвостохранилищ)**

Для таких объектов как приповерхностные водоемы-хранилища ЖРО или хвостохранилища, поверхность которых не закрыта покрывающим экраном, в течение периода хранения РАО среди внешних воздействий, которые могут привести к рискам потенциального облучения, может рассматриваться такое погодное явление как засуха, сопровождаемая сильным ветром.

Вследствие воздействия сочетания данных погодных условий может быть оценен вынос ветром радиоактивной пыли в атмосферу, обусловленный осушением части ложа в результате различных событий. Например, вследствие длительного сухого и жаркого летнего периода и аварии при сбросе воды в хранилище. В случае, если вероятность таких событий уже была оценена, как и величина вынесенной активности и площадь загрязнения в результате аварии, в рамках обоснования безопасности ПХРО, для оценки риска потенциального облучения должны быть использованы имеющиеся оценки. Сама величина риска в рамках обоснования может быть получена с использованием формулы (3.13):

$$R = \sum_i P \cdot \left( \frac{A_i}{S_{загр.}} \right) \cdot N \cdot \varepsilon_{внеш.и} \cdot \varepsilon_D, \quad (3.13)$$

где  $P$  – вероятность возникновения засухи, 1/год;

$A_i$  – суммарная активность  $i$ -го радионуклида, выносимая смерчем, Бк;

$S_{загр.}$  – площадь загрязненной территории,  $m^2$ ;

$\varepsilon_{внеш.и}$  – дозовый коэффициент внешнего облучения для  $i$ -го радионуклида,  $(мЗв \cdot м^2)/(Бк \cdot ч)$ ;

$N$  – трудозатраты на ликвидацию загрязнения, чел.·ч;

$\varepsilon_D = 5 \cdot 10^{-5}$  – коэффициент риска смерти в результате дополнительного облучения,  $1/(чел. \cdot мЗв)$ .

В случае отсутствия оценок активности, которая может быть вынесена с осушенной части ПХРО, может быть использована методика [119]. Для оценки активности выбросов при хранении РАО с территории осушившегося ложа хранилища может быть использована формула (3.14):

$$A = A_{y0} \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot g_i \cdot F \cdot u \cdot t, \quad (3.14)$$

где  $A_{y0}$  – удельная активность донных отложений (иловых отложений), на осушившемся участке хранилища, Бк/г;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий местные метеоусловия (таблица 3.13);

$k_4$  – коэффициент, учитывающий местные условия защищённости узла от внешних воздействий (таблица 3.13);

$k_5$  – коэффициент, учитывающий влажность материала (таблица 3.13);

$k_6$  – коэффициент, учитывающий профиль поверхности и определяемый как соотношение  $F_{факт}/F$ , принимаем значение 1,0, то есть площадь пыления равна площади осушившегося участка хранилища ( $F_{факт}$  – фактическая поверхность материала с учетом рельефа его сечения (учитывается только площадь, на которой производятся погрузочно-разгрузочные работы),  $m^2$ );

$F$  – поверхность пыления в плане,  $m^2$ ;

$k_7$  – коэффициент, учитывающий крупность материала (таблица 3.13);

$g_i$  – унос пыли с  $1$ -го  $m^2$  фактической поверхности,  $г/m^2$ ;

$F$  – поверхность пыления в плане,  $m^2$ ;

$u = 3600$  – коэффициент, б/р;

$t$  – длительность события, ч.

Таблица 3.13 – Значения коэффициентов  $k_3$ ,  $k_4$ ,  $k_5$ ,  $k_7$  для оценки величины выброса [119]

Скорость ветра, м/с	$k_3$	Местные условия	$k_4^*$	Влажность материалов, %*	$k_5$	Размер кусочка, мм	$k_7$	Складруемый материал	$g_i$ , г/м <sup>2</sup> ·с (при $k_3 = 1, k_5 = 1$ )
до 2	1,0	Склады, хранилища открытые:	-	0-05	1,0	более 500	0,1	Клинкер, шлак	0,002
до 5	1,2	а) с 4-х сторон	1,0	до 1,0	0,9	500-100	0,2	Щебенка, песок, кварц	0,002
до 7	1,4	б) с 3-х сторон	0,5	до 3,0	0,8	100-50	0,4	Мергель, известняк, огарки, цемент	0,003
до 10	1,7	в) с 2-х сторон полн. и с 2-х сторон частич.	0,3	до 5,0	0,7	50-10	0,5	Сухие глинистые материалы	0,004
до 12	2,0	г) с 2-х сторон	0,2	до 7,0	0,6	10-5	0,6	Хвосты асбестовых фабрик, песчаник, известь	0,005
до 14	2,3	д) с 1-ой стороны	0,1	до 8,0	0,4	5-3	0,7	Уголь, гипс, мел	0,005
до 16	2,6	е) грузочный рукав	0,01	до 9,0	0,2	3-1	0,8	-	-
до 18	2,8	ж) закрыт с 4-х сторон**	0,005	до 10,0	0,1	менее 1	1,0	-	-
до 20 и выше	3,0	-	-	свыше 10	0,01	-	-	-	-

Примечания:

\* (а-л) – коэффициенты, учитывающие местные условия при статическом хранении,

\*\* – при переводе неорганизованных источников узла пересыпки в организованные, считать выброс пыли в атмосферу до 30 % от нормативного показателя ее при аспирации узла.

### ***Падение летательного аппарата***

В случае, если над территорией расположения ПХРО разрешены полеты самолетов, а сам ПХРО отнесен к объекту I или II категории по потенциальной опасности (п. 3.1.2 Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010 [38]), для периодов до перевода ПХРО в пункт консервации особых РАО или ПЗРО или до завершения работ по удалению РАО может потребоваться выполнение оценки рисков потенциального облучения при падении летательного аппарата (ЛА) на место размещения РАО с последующим взрывом от разлива топлива и пожаром, который приведет к загрязнению окружающей среды. В случае, если данные оценки уже выполнены для рассматриваемого объекта, оценка риска потенциального облучения проводится с учетом количества персонала, задействованного при ликвидации аварии.

В соответствии с [31] при выполнении анализа безопасности сооружений для размещения РАО целесообразно рассматривать аварийные сценарии, вероятность возникновения которых составляет  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> или ниже [120].

Для выполнения оценки последствий от падения ЛА принимается, что при падении самолета поражается площадь, равная площади деформации самолета при ударе о строительные конструкции, указанная в приложении 1 Правил и норм АЭ-5.6 «Нормы строительного проектирования атомных станций с реакторами различного типа». Консервативно принимается, что площадь поражения придется на участок с РАО, представляющими наибольшую потенциальную опасность. Например, при хранении низко- (НАО) и средне-активных РАО (САО) в отсеках, рассматривается вариант с поражением отсека с САО. Если имеются горючие радиоактивные вещества, оцениваются последствия пожара. Выход активности в воздух помещения при горении РВ принимается в процентном отношении от общей активности источника в соответствии с рекомендациями IAEA-TECDOC-1162/R «Общие инструкции оценки и реагирования на радиологические аварийные ситуации» [118]. После выполнения оценки трудозатрат персонала, задействованного в ликвидации пожара и аварии и оценки доз облучения, выполняется оценка обобщенного риска потенциального облучения, с использованием коэффициента риска смерти в результате дополнительного облучения ( $5 \cdot 10^{-5}$ , 1/(чел.·мЗв) [37]).

### ***Аварии техники при выполнении работ на объекте***

В качестве технологических аварий в процессе проведения работ по консервации пункта размещения особых РАО могут рассматриваться отказы механизмов и грузового транспорта в месте проведения работ, которые приводят к дополнительным трудозатратам персонала на исправление неисправностей. Данные оценки могут быть проведены при условии, что на предприятии собирается статистика по аварийным ситуациям.

Оценку риска потенциального облучения персонала, который будет задействован в ремонте техники, при возникновении аварийной ситуации на территории ПХРО вычисляется по формуле (3.15):

$$R = (\sum_i P_i \cdot T_i \cdot t_i \cdot N_i \cdot S_i) \cdot \varepsilon_D, \quad (3.15)$$

где  $P_i$  – вероятность отказа  $i$ -го механизма, 1/год;

$T_i$  – суммарное время работы механизмов  $i$ -го типа за все время проведения работ, ч;

$t_i$  – среднее время устранения неисправности  $i$ -го механизма, ч;

$N_i$  – количество человек задействованных в ликвидации аварии с  $i$ -м механизмом, чел.;

$S_i$  – мощность AMBIЕНТНОГО эквивалента дозы в месте устранения неисправности  $i$ -го механизма, мЗв/ч;

$\varepsilon_D = 5 \cdot 10^{-5}$  – коэффициент риска смерти в результате дополнительного облучения, 1/(чел.·мЗв) [37].

### ***Аварии при выполнении работ при обращении с упаковками РАО***

Среди всех основных технологических операций по обращению с удаляемыми РАО должны быть выделены наиболее аварийные. К ним относятся работы по извлечению

РАО, погрузочно-разгрузочные работы и транспортирование упаковок РАО, как в пределах объекта, так и по дорогам общего пользования.

Расчет обобщенного риска потенциального облучения персонала ( $R_{УРАО}$ ) при транспортировании кондиционированных ТРО в централизованный пункт хранения РАО подробно описан в препринте [3].

Для проведения оценки риска потенциального облучения, в рамках обоснования отнесения РАО к особым, рекомендуется провести оценку объема извлеченных РАО после переработки. Для полученного значения объема определить его категорию (НАО, САО), рассчитать величину риска потенциального облучения с использованием таблицы 3.14, а также с использованием оценки длины маршрута от пункта хранения до централизованного ПЗРО.

Таблица 3.14 – Справочные коэффициенты для расчета обобщенного риска потенциального облучения персонала при транспортировке  $1 \text{ м}^3$  переработанных РАО на расстояние 100 км [3]

Вид транспорта	Категория отходов			
	ОНРАО, НАО		САО	
	$r_{\text{тр(п-в)}}$	$r(\text{та})$	$r_{\text{тр(п-в)}}$	$r(\text{та})$
Железнодорожный	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$
Автомобильный	$6,7 \cdot 10^{-9}$	$4,6 \cdot 10^{-8}$	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-7}$

В конкретном случае  $R_{УРАО}$  рассчитывается по соотношению:

$$R_{УРАО} = r_{\text{тр(п-в)}} \cdot V_{РАО} + r(\text{та}) \cdot V_{РАО} \cdot L/100, \quad (3.16)$$

где  $r_{\text{тр(п-в)}}$ ,  $r(\text{та})$  – удельные обобщенные риски потенциального облучения на этапе погрузки-выгрузки и транспортировки  $1 \text{ м}^3$  РАО, в соответствии с таблицей 3.14,  $1/(\text{год} \cdot \text{м}^3)$ ;

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

$L$  – длина маршрута транспортировки РАО от пункта хранения до пункта захоронения РАО, км.

**Пример раздела «Оценка рисков потенциального облучения, связанного с удалением РАО» для ПХ ТРО АО «Мазнит»**

*Проведение работ по удалению РАО сопряжено с теми же рисками внешнего воздействия (смерч, падение летательного аппарата и др.), что и для работ по захоронению РАО в месте их нахождения, которые, как показано выше, можно считать пренебрежимо малыми.*

*При проведении работ по удалению РАО из ПХ ТРО к наиболее аварийным относятся грузоподъемные работы и транспортирование.*

*При оценке риска потенциального облучения, считаем, что РАО после переработки транспортируются автомобильным транспортом, расстояние до централизованного пункта захоронения – 10 км.*

*В таблице 3.15 приведены итоговые оценки рисков потенциального облучения при проведении погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки.*

Таблица 3.15 – Результаты оценки риска потенциального облучения при проведении работ по обращению с кондиционированными РАО

Объем переработанных РАО, м <sup>3</sup>	Удельный ОРПО на 1 м <sup>3</sup> переработанных РАО [ссылка на Пособие]		ОРПО
	Погрузка авто	Перевозка авто	Авто
1	2	3	4
$2,1 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$	$1,18 \cdot 10^{-5}$
Получено путем умножения объема ТРО на 1,5 после переработки и кондиционирования		В расчете на 10 км	Получено умножением объема РАО на значения в колонках (2+3)

**Пример раздела «Оценка рисков потенциального облучения» для ПХ ЖРО ФГУП «Ларс»:**

Из аномальных метеорологических явлений наиболее опасным с точки зрения нарушения условий безаварийной эксплуатации ПХ ЖРО является возникновение смерча и прохождение его через акваторию водоема.

АО «Миграция» были выполнены оценки вероятности прохождения смерча через ПХ ЖРО на основе математического моделирования и статистических данных. Полученные результаты показали, что индивидуальная доза для критической группы населения в г. ХХ не превысит 10 мкЗв/год, и, следовательно, обобщенный риск потенциального облучения от смерча, проходящего через ПХ ЖРО, можно считать пренебрежимо малым.

В качестве технологических аварий в процессе консервации ПХ ЖРО рассматриваются отказы механизмов и грузового транспорта в месте проведения работ, которые приводят к дополнительным трудовым затратам персонала. Из опыта работ, полученного при эксплуатации техники, которая будет задействована при консервации, на предприятии, принимаются следующие исходные данные:

Вероятность отказа механизма –  $10^{-3} \text{ ч}^{-1}$ ;

Период работы механизма в год – 3400 ч/год;

Длительность этапа 2 – 2 года;

Число единиц техники – 10;

Среднее время устранения неисправности – 1 ч;

Численность ремонтного персонала – 2 чел.;

МАЭД в месте устранения неисправности – 5 мкЗв/ч;

Вероятность преждевременной смерти от облучения –  $0,05 \text{ (чел. Зв)}^{-1} [2]$ ;

Риск потенциального облучения оценивается путем перемножения перечисленных значений. Таким образом, риск потенциального облучения при проведении технологических операций по консервации ПХ ЖРО составит  $3,4 \cdot 10^{-5}$ .

### 3.8 Оценка затрат, связанных с захоронением РАО в месте их нахождения

**Общие подходы и допущения при выполнении оценок затрат для двух вариантов обращения с РАО**

Для обоснования отнесения накопленных РАО к особым РАО требуется выполнить сравнение оценок затрат для двух вариантов обращения с отходами. В [2] приводится подход выполнения обоснования превышения затрат, связанных с удалением РАО, оценки затрат, связанных с захоронением РАО в месте их нахождения, разработанный в рамках первичной регистрации РАО, согласованный со всеми заинтересованными сторонами и примененный эксплуатирующими организациями.



В рамках него лежат следующие подходы и допущения:

- оценка затрат, связанных с удалением РАО, проводится в условиях, когда оценки совокупного размера возможного вреда окружающей среде и затрат, связанных с захоронением РАО на месте, уже выполнены;
- оценка затрат, связанных с удалением РАО, выполняется пошагово и прекращается в том случае, если полученные оценки позволяют убедительно доказать неравенство (3.17):

$$P_{\text{ОРАО}} + Y_{\text{ущерб}} < P_{\text{УРАО}}, \quad (3.17)$$

где  $P_{\text{ОРАО}}$  – расходы, связанные с захоронением РАО в месте их нахождения,

$Y_{\text{ущерб}}$  – совокупный размер возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения,

$P_{\text{УРАО}}$  – расходы, связанные с удалением РАО;

– убедительность выполнения неравенства (3.17) считается достигнутой, например, если затраты по варианту удаления РАО превысят затраты на консервацию в 1,5–2 раза;

– при выполнении оценок затрат на удаление РАО не требуется чрезмерная детализация работ, оценку предлагается начинать с наиболее легко оцениваемых и дорогостоящих операций.

**Затраты, связанные с захоронением РАО в месте их нахождения** (при отсутствии проекта консервации ПХРО)

На этапе проектирования согласно общей практике выполнения строительно-монтажных работ для оценки необходимого объема ресурсов производятся сметные расчеты стоимости строительства (локальные, объектовые и сводный). Методика формирования сметной стоимости на территории Российской Федерации утверждена приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 04 августа 2020 г. № 421/пр. [121] и определяет основные принципы и общую структуру сметного нормирования, методологию расчетов сметной стоимости и требования к используемым сметным нормативам для всех предприятий строительного комплекса РФ (далее – Методика № 421/пр). К сметной документации прилагаются и являются ее неотъемлемыми частями: пояснительная записка; ведомости объемов работ; обосновывающие документы.

Структуру затрат на выполнение работ можно разбить на следующие группы:

- 1) Прямые затраты, в том числе:
  - подготовительные работы, в которые входит подготовка территории площадки размещения ПХРО;
  - затраты на обращение с удаляемыми РАО (если они имеются);
  - затраты на выполнение строительно-монтажных (демонтажных) работ со строительными элементами ПХРО (основных объектов);
- 2) Прямые затраты (опциональные, в зависимости от особенностей ПХРО, размещенных в них РАО и варианта целевого состояния площадки), в том числе:
  - сооружение вспомогательных объектов строительства и временных объектов, в том числе подсобного и обслуживающего назначения, энергетического и транспортного хозяйства, объекты инфраструктуры для обращения с РАО и другие;
  - благоустройство и озеленение территории;
- 3) Косвенные затраты, в том числе:
  - подготовка и обучение кадров для работы на специализированном оборудовании;

- публичный технологический и ценовой аудит, в том числе авторский надзор, подготовка проектной и рабочей документации;
- налоги и резерв на непредвиденные работы;
- прочие работы, в том числе командировочные расходы, выполнение работ в зимнее время и транспортировка рабочих.

Сметная стоимость строительно-монтажных работ, определенная с применением базисно-индексного метода, приводится в локальных сметных расчетах (сметах) в двух уровнях цен: базисном (в ценах 2000 года) и текущем. Для определения сметной стоимости в базисном уровне цен, преимущественно для всех монтажных (демонтажных) работ применяются единичные расценки, сведения о которых включены в Федеральный реестр сметных нормативов (ФРСН). При отсутствии в сметных нормах данных о расходе строительных ресурсов, их количество принимается по данным проектной документации с учетом положений Методики. В сводном сметном расчете сметные затраты распределяются по главам в соответствии с Положением Постановления Правительства Российской Федерации от 16 февраля 2008 года №87 о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию [122].

Ориентировочный расчет стоимости работ по захоронению РАО в месте их нахождения рекомендуется проводить в следующей последовательности:

**Шаг 1. Оценка затрат на обращение с РАО, которые требуется удалить из ПХРО до начала выполнения работ по консервации** (в случае, если такие работы предусмотрены сценарием обращения с РАО при их захоронении в месте нахождения).

Проводится оценка объема РАО и других характеристик, которые должны быть удалены до проведения работ по консервации ПХРО (например, для емкостей-хранилищ ЖРО оценивается объем ЖРО; для объектов, в которых дополнительно размещены РАО в пристройках и местах временного хранения и т. д.). Выполняется оценка стоимости работ, в соответствии с данными раздела 3.10.

**Шаг 2. Анализ состояния ПХРО и определение укрупненного перечня работ, которые требуется выполнить для его консервации.**

По имеющейся проектной, конструкторской, эксплуатационной документации собирается максимальное количество данных, позволяющее выполнить оценки стоимости затрат на выполнения работ по консервации ПХРО.

Составляется укрупненный перечень работ, необходимый для перевода объекта в ПЗРО, который может включать следующие работы:

- подготовка территории к проведению работ;
- разборка существующих конструкций (например, расчистку верха существующего экрана, разбор временных сооружений и др.);
- монтаж либо реконструкция необходимой инфраструктуры (например, насосной станции откачки ЖРО);
- устройство наблюдательных скважин;
- заполнение пустот в ПХРО буферным материалом,
- создание покрывающего экрана (отсыпка защитного слоя, фильтрующего слоя, укладка защитного экрана, отсыпка защитного слоя грунта);
- обработка грунта;
- устройство инженерных систем (труб-отдушин, обводных каналов, испарительных канавок и т. п.);
- устройство систем мониторинга;
- реабилитация территорий.

Перечень самых основных данных, требуемых при выполнении оценок затрат, представлен в таблице 3.16, он может быть сокращен или дополнен эксплуатирующей организацией.

Таблица 3.16 – Основные характеристики ПХРО для выполнения оценки затрат на его консервацию

Характеристика ПХРО	Обозначение	Комментарии
Площадь пункта хранения	$S_{пх}$	Данные проектной документации
Периметр пункта хранения	$L_{пх}$	Данные проектной документации
Периметр и площадь ореола загрязнения	$L_o, S_o$	В случае если такое загрязнение выявлено
Длина обводных каналов	$L_{об}$	Для сценария, предусматривающего их создание
Объем пустот в ПХРО, требующих заполнения буферным материалом	$V_{п}$	Для сценария, предусматривающего заполнения пустот между упаковками РАО/конструкциями ПХРО (на основании имеющейся документации)
Площадь загрязненной территории вокруг ПХРО, требующей реабилитации	$S_t$	Для сценария, предусматривающего проведение работ по реабилитации загрязненной территории
Характеристики защитной конструкции над ПХРО, создаваемой/демонтируемой: высота, площадь или др.	$H_{защ.}, L_{защ.}$ и др.	Для сценария, предусматривающего создание дополнительной защитной конструкции (например, от атмосферных осадков) на время проведения работ. В ряде случаев над ПХРО уже может быть сооружен временный экран, который требует демонтажа до проведения работ по созданию покрывающего экрана (например, по типу ангар для размещения дополнительных РАО над ПХРО)
Высота и длина фундамента ПХРО	$H_{фунд.}, L_{фунд.}$	Для сценария, предусматривающего проведение работ по гидроизоляции фундамента ПХРО (для заглубленных специализированных зданий, траншей и др.)
Характеристики покрывающего экрана	-	Оценивается объем строительных материалов с учетом площади ПХРО, толщины каждого слоя покрывающего экрана (в отсутствии проекта консервации с использованием справочных материалов), затрат на создание покрывающего экрана и т.д.

Стоимость создания покрывающего экрана, помимо затрат непосредственно на проведение работ, зависит от стоимости и объема материалов, которые будут использованы. На сегодня собрано достаточное количество информации, позволяющей в рамках обоснования отнесения РАО к особым или удаляемым РАО сделать предположение об основных характеристиках покрывающего экрана на основе проведения аналогий по типам ПХРО или характеристикам РАО. В таблице 3.17 приведены примеры различных покрывающих экранов ПХРО в зависимости от категории РАО.

Таблица 3.17 – Примеры покрывающих экранов ПЗРО

Категория РАО	Характеристика покрывающего экрана			
ОНРАО, НАО [123, 124]	Грунт с травяным покрытием, толщиной до 0,5 м; Слой грунта (морена), толщиной до 1 м; Слой гидроизолирующего материала (геотекстиль); Слой глины, толщиной до 1 м; Слой гидроизолирующего материала (геотекстиль)/глиняный экран			
ОНРАО, НАО (ППЗРО 3 и 4 класса, железобетонное сооружение) [125, 126, 127]	Растительный слой, толщиной до 0,2 м; Дренажный слой (гравий), толщиной до 0,42 м; Бентонитовый мат, толщиной до 30 мм; Слой уплотненной глины или суглинков, толщиной от 1,2 до 1,6 м; Песок, толщиной до 0,2 м; Бентонитовый мат, толщиной до 30 мм			
ОНРАО, НАО (ППЗРО 3 и 4 класса, железобетонное сооружение) [128]	Растительный слой, толщиной 0,2 м; Грунт, толщиной до 0,85 м; Скальный грант /дробленный камень, толщиной до 0,5 м; Песчано-гравийная смесь, толщиной до 0,5 м; Глина, толщиной до 1 м			
НАО, САО (для трех вариантов использования материалов на основе бентонита) [129-131]	Материал	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
	Растительный слой	0,2 м	0,2 м	0,2 м
	Местная глина или суглинок	0,5 м	-	0,4 м
	Местная глина с бентонитовым порошком 1:1	-	1,2 м	-
	Бентонитовый мат	-	0,2 мм	0,8 мм
	Слой уплотненного бентонита	0,8 м	-	0,4 м
	Щебень или смесь песка и щебня	0,4 м	0,4 м	0,4 м
	Местная глина или суглинок	3 м	3 м	3 м
ЖРО (САО, ВАО*) [132]	Корнеобитаемый слой (травяное покрытие), толщиной до 0,5 м; 2-й гидроизолирующий слой (сооруженный послойно из местного суглинка с уплотнением, при котором коэффициент фильтрации материала составит 0,05 м/сут), толщиной до 0,5 м; Капиллярно-прерывающий слой (щебень разной фракции), толщиной до 0,5 м; 1-й гидроизолирующий слой выравнивающий (из местного суглинка с уплотнением), толщиной до 0,5 до 1 м; Скальный грунт; По периметру сооружается гидроизолирующий экран-дамба с глиняным экраном			
ЖРО (пульпа) в приповерхностных водоемах-хранилищах [110]	Растительный защитный слой, толщиной до 0,2 м; Песчаный слой, толщиной до 1,2 м; Глиняный слой, толщиной до 0,8 м; Песчаный грунт, толщиной до 3 м; Щебень, толщиной до 0,4 м; Песчаный грунт, толщиной до 3,5 м			

### Шаг 3. Оценка затрат, связанных с захоронением РАО в месте их нахождения.

После составления укрупненного перечня работ по консервации ПХРО, выполняется оценка стоимости как консервации ПХРО, так и его перевода в ПЗРО. Расценки для большинства строительно-монтажных работ, не связанных с обращением с РАО или ликвидацией ОИАЭ, целесообразно определять в соответствии с ФЕР. В таблице 3.18 приведены расценки, рассчитанные на основе опыта уже выполненных работ по консервации ПХРО при реализации ФЦП ЯРБ и ФЦП ЯРБ-2. В случае, если в организации есть оценки на проведение отдельных этапов работ, следует использовать данные организации, в том числе оценки МСФО.

Таблица 3.18 – Основные этапы работ по обращению с РАО при их захоронении в месте нахождения, а также справочные стоимости работ и подходы для оценки их стоимости [2, 133]

№	Этап работ	Вид работ	Удельные затраты (в ценах 2021 г.)	Источник данных/комментарии
1	Подготовительные работы	Создание элементов инфраструктуры	В самом общем виде могут быть оценены как 10 % от затрат на работы по консервации ПХРО. Оценка стоимости отдельных работ этапа приведена ниже в №№ 1.1-1.5 настоящей таблицы	Учитываются особенности ПХРО
1.1	-	Подготовка территории строительства	550–1000 тыс. руб.	-/Абсолютная величина
1.2	-	Разборка существующих конструкций (дамб обвалования, глиняного экрана и т. д.)	410 руб. /м <sup>3</sup>	-
1.3	-	Сооружение подкачивающей насосной станции	6,5–7,5 млн руб.	-
1.4	-	Прокладка наружных сетей спецканализации	37 тыс. руб./м	-
1.5	-	Устройство проездов и монтаж наружных сетей электроснабжения	50–60 млн руб.	-
2	Работы по консервации ПРО-РАО	Создание покрывающего экрана:		Учитывается площадь объекта
· отсыпка слоя грунта		0,3 тыс. руб./м <sup>3</sup>		
· отсыпка слоя щебня		1,2 тыс. руб./м <sup>3</sup>		
· укладка глиняного экрана		0,6 тыс. руб./м <sup>3</sup>		
		Создание обводных каналов	17 тыс. руб./м	Учитывается периметр объекта
		Устройство труб-отдушин	82 тыс. руб./шт.	

		Устройство испарительных канавок	70 руб./ м <sup>3</sup> разработки грунта	
		Дополнительное омоноличивание РАО	22 тыс. руб./м <sup>3</sup>	Может допускаться, что объем материала не превысит 10 % объема РАО
		Заполнение пустот буферным материалом	61 тыс. руб./ м <sup>3</sup>	Учитывается незаполненный объем ПХРО
		Создание дополнительных барьеров безопасности типа «стена в грунте» с кольматирующим раствором	360 тыс. руб./м	Может учитываться периметр ПХРО (консервативно принимаем, что шаг – 1 метр)
		Устройство системы мониторинга и радиационного контроля, включая закупку, монтаж и пусконаладочные работы	140 тыс. руб. /шт. устройства	Оценивается объем работ
		Сооружение свдвоенных наблюдательных скважин	640 тыс. руб./скважину	-
		Обращение с удаляемыми РАО	-	Оценивается в соответствии с разделом 3.10
		Реабилитация территории	88 тыс. руб./м <sup>2</sup>	Учитывается площадь загрязненной территории вокруг ПХРО
3	Реконструкция ПКОРАО	Реконструкция барьеров безопасности	Оценивается как 30 % от затрат на консервацию (стоимость этапа 2) за каждую реконструкцию	Учитываются данные по проектному сроку службы барьеров безопасности. По его истечению, могут быть выполнены работы по реконструкции ИББ. Допускается, что эти работы позволят продлить срок службы барьеров безопасности на аналогичный период. Работы по реконструкции могут быть повторены до 3 раз до перевода в ПЗРО. Решение о необходимости выполнения работ кратко обосновываются.
4	Перевод в ПЗРО	Перевод в ПЗРО	Оценивается как 40 % от затрат на консервацию (стоимость этапа 2)	-
5	Проведение радиационного контроля	Проведение радиационного контроля	Ежегодные затраты могут быть оценены как 0,12% от затрат на консервацию ПХРО (стоимость этапа 2)	Допускается, что мониторинг и период времени радиационного контроля не превысит 50 лет после перевода в ПЗРО

### Оценка затрат при наличии проекта по консервации пункта хранения РАО

Оценка затрат проводится только для тех этапов работ по консервации ПХРО, которые еще не выполнены. В случае если часть работ по консервации ПХРО уже выполнена (например, подготовительный этап), затраты, связанные с этими работами, не учитываются.

Оценка затрат на перевод ПКОРАО в ПЗРО и проведение радиационного контроля оцениваются исходя из сведений проекта, включая:

- затраты на подготовительные мероприятия (проведение КИРО, разработка проекта, получение лицензии, ООБ и др.) ( $P_n$ );
- затраты на проведение работ по консервации ПХРО ( $P_k$ );
- данные по проектному сроку эксплуатации ( $T_s$ ) ПКОРАО (срок службы барьеров безопасности);
- ежегодные затраты на проведение работ по радиационному контролю ПКОРАО ( $P_m$ ) до перевода в ПЗРО.

На основании данных проекта консервации проводится оценка затрат на работы по реконструкции барьеров безопасности (в том числе оценка численности таких реконструкций), работ по переводу пункта консервации в пункт захоронения РАО (таблица 3.19).

Таблица 3.19 – 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 ПЗРО	
Затраты на работы по переводу пункта консервации в пункт захоронения	$=0,4 \cdot P_k$	
Общие затраты на захоронение РАО в месте их нахождения	$=(1,4+0,3 \cdot N) \cdot P_k + P_m \cdot T_s + P_n$	

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

#### Общие подходы и допущения

В [2] приводится подход к выполнению оценки критериального показателя, впервые встречающегося в нормативных документах, – размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения, разработанный в рамках первичной регистрации РАО и согласованный со всеми заинтересованными сторонами. В дальнейшем вышел целый пакет документов Росгидромета в области радиационной безопасности окружающей среды [134-139], что позволяет выполнить актуализацию подхода, а также сформулировать основные допущения:

- под совокупным размером возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения ( $Y_{\text{ущерб}}$ ) понимается оцененный в денежном эквиваленте экологический ущерб вследствие потенциально возможной гибели объектов живой природы на территории воздействия рассматриваемого ПХРО;

– оценка эколого-экономического ущерба производится на основе сопоставления данных мониторинга радиационной обстановки и/или радиоэкологического моделирования с контрольными уровнями содержания техногенных радионуклидов в компонентах природной среды на территории воздействия ПХРО:

а) непревышение контрольных уровней позволяет утверждать об отсутствии возможного вреда окружающей среде. Значение вреда в рамках обоснования отнесения РАО к особым принимается равным нулю;

б) при превышении контрольных уровней проводится расчет мощности дозы облучения референтных объектов живой природы на территории воздействия ПХРО;

в) в качестве референтных объектов в соответствии с признанными в мире подходами [140-142] определены следующие наземные и водные живые организмы: трава, сосна, мышь, олень, улитка, змея, дождевой червь, водные растения, моллюски, рыба пелагическая и придонная, утка, пчела;

г) выполняется сравнение полученных значений дозовых нагрузок с критериями радиоэкологической безопасности, обеспечивающими сохранение благоприятной окружающей среды;

д) в качестве консервативных критериев радиоэкологической безопасности объектов природной среды принимаются следующие значения: 0,001 Гр/сут для организмов животного мира (млекопитающих, позвоночных животных и сосны), и 0,01 Гр/сут для организмов растительного мира и беспозвоночных животных (кроме сосны) [141]. Отметим, что эти же критерии приняты и в документах Росгидромета [134-139];

е) непревышение этих уровней позволяет утверждать об отсутствии возможного вреда окружающей среде. Значение вреда в рамках обоснования отнесения РАО к особым принимается равным нулю;

ж) в случае превышения приведенных выше уровней консервативно предполагается гибель объектов живой природы и производится расчет вреда окружающей среде;

з) оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде складывается из экономического ущерба от вреда, причиненного:

- объектам животного мира;
- среде обитания объектов животного мира;
- объектам растительного мира;
- водным биологическим ресурсам;

и) оценка денежного эквивалента совокупного размера возможного вреда окружающей среде производится в соответствии с нормативно-методическими документами в области охраны окружающей среды. Для оценки эколого-экономического ущерба рекомендуется использовать таксы/нормативы за ущерб, причиненный уничтожением объектов животного и растительного мира, а также таксы/нормативы, утвержденные в соответствии с порядком, установленным законодательством Российской Федерации.

Ниже пошагово описана методика выполнения оценки совокупного размера возможного вреда окружающей среде, которая также может быть использована и при оценке долговременной безопасности биоты при захоронении РАО.



## **Шаг 1. Характеристика радиационной обстановки на территории воздействия пункта хранения накопленных РАО**

На первом шаге оценки вреда выполняется анализ радиационной обстановки на прилегающей к ПХРО загрязненной территории по данным мониторинга и радиоэкологического моделирования.

Анализ данных мониторинга проводится с целью определения статистически достоверных значений удельной и объемной активности радионуклидов в компонентах природной среды для их последующего использования для оценки потенциального экологического ущерба. Идентифицируются потенциальные источники радиационного воздействия, включая выбросы и сбросы радионуклидов, возможные утечки радионуклидов из ПХРО в окружающую среду, территории, загрязненные радиоактивными веществами в результате прошлой деятельности рассматриваемого ОИАЭ или радиационных аварий. Особое внимание уделяется выявлению радионуклидов, представляющих наибольшую значимость при тех путях радиационного воздействия, которые рассматриваются при оценке вреда.

При отсутствии данных мониторинга производятся модельные оценки удельных и объемных активностей радионуклидов в компонентах природной среды. Определяются участки с максимальными уровнями загрязнения компонент природной среды. В случае необходимости проводится дополнительное радиоэкологическое обследование территории.

Формируется таблица (пример представлен в виде таблицы 3.20), содержащая сведения по содержанию радионуклидов в почве, а при необходимости и в воде и донных отложениях водоема и атмосферном воздухе, попадающих в зону воздействия ПХРО. В случае если территория воздействия состоит из отдельных участков, характеризующихся различным содержанием радионуклидов, дальнейшие расчеты выполняются для каждого участка в отдельности. Отметим, что в рамках обоснования целесообразно ограничиться одним-тремя участками.

Таблица 3.20 – *Пример таблицы, содержащей характеристики радиационной обстановки на территории воздействия ПХРО*

Радионуклид	Удельная активность ( $C_i$ ), Бк/кг		
	Участок 1 – территория вокруг пункта хранения РАО	Участок 2 – вода близлежащего водоема	Участок 3 – донные отложения близлежащего водоема
$^{90}\text{Sr}$	$1,3 \cdot 10^3$	2,9	$6 \cdot 10^3$
$^{137}\text{Cs}$	$8,7 \cdot 10^2$	0,021	$6 \cdot 10^2$
$^{239}\text{Pu}$	23	-	-

## **Шаг 2. Сравнение удельной активности радионуклидов в компонентах природной среды на загрязненной территории с контрольными уровнями**

Вторым шагом является сравнение удельных активностей радионуклидов в компонентах природной среды (почва, поверхностные воды, донные отложения, атмосферный воздух) на загрязненной территории с контрольными уровнями, обеспечивающими сохранение благоприятной окружающей среды.

Сравнение осуществляется путем расчета интегрального показателя загрязнения (ИПЗ) радионуклидами компонент природной среды, определяемого по ле (3.18) [135, 143]:

$$ИПЗ = \sum_i \frac{A_i}{A_{к,і,эк}}, \quad (3.18)$$

где  $A_i$  – удельная активность  $i$ -го радионуклида в компоненте природной среды (почва, вода, донные отложения, атмосферный воздух);

$A_{к,і,эк}$  – контрольный уровень удельной активности  $i$ -го радионуклида в соответствующем компоненте по критерию сохранения благоприятной окружающей среды.

Порядок определения контрольных уровней содержания радионуклидов в компонентах природной среды (в морских и пресных водах, почве, донных отложениях морских и пресноводных водных объектов, атмосферном воздухе) приведен в Рекомендациях Росгидромета Минприроды России [134-138].

При интегральном показателе загрязнения  $ИПЗ < 1$ , совокупный размер возможного вреда окружающей среде полагается равным нулю.

При  $ИПЗ \geq 1$  продолжается процедура оценки совокупного размера возможного вреда окружающей среде.

### **Шаг 3. Расчет мощности дозы для выбранных референтных объектов живой природы**

Третьим шагом является расчет мощности дозы облучения организмов биоты на основе таблиц, систематизированных в работах [139, 141, 144, 145].

#### **Оценка мощности дозы облучения для наземных организмов (растение/трава, сосна/дерево, мышь, олень, лягушка, змея, дождевой червь)**

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

Таким образом, мощность дозы облучения  $j$ -го объекта биоты ( $D_j$ ) рассчитывается по формуле (3.19):

$$D_j = \sum_{i=1}^N (DCF_{ij}^{\text{внутр.}} \cdot K_{ji} + DCF_{ij}^{\text{внеш.поч.}}) \cdot C_i^{\text{поч.}}, \quad (3.19)$$

где  $DCF_{ij}^{\text{внутр.}}$  – фактор дозовой конверсии для внутреннего облучения  $j$ -го объекта биоты от  $i$ -го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг сырого веса) (таблица 3.21);

$DCF_{ij}^{\text{внеш.поч.}}$  – фактор дозовой конверсии для внешнего облучения  $j$ -го объекта биоты от  $i$ -го радионуклида, (мкГр/ч)/(Бк/кг) (таблица 3.21);

$K_{ji}$  – коэффициент перехода радионуклидов в референтные организмы, Бк/кг сырой массы/ Бк/кг сухой массы почвы (таблица 3.22);

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

Таблица 3.21 – Факторы дозовой конверсии для внутреннего ( $DCF_{внутр. i, j}$  (мкР/ч)/(Бк/кг)) и внешнего ( $DCF_{внеш. i, j}$  в почве / объем (мкР/ч)/(Бк/кг)) облучения наземных организмов

Радионуклид	Пшеница		Трва		Сосна/дерево		Дождевой червь	
	$DCF_{внутр. i, j}$	$DCF_{внеш. i, j}$	$DCF_{внутр. i, j}$	$DCF_{внеш. i, j}$	$DCF_{внутр. i, j}$	$DCF_{внеш. i, j}$	$DCF_{внутр. i, j}$	$DCF_{внеш. i, j}$
<sup>3</sup> H	$1,1 \cdot 10^{-6}$	-	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0
<sup>60</sup> Co	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
<sup>90</sup> Sr	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-11}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$5,9 \cdot 10^{-12}$	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$
<sup>137</sup> Cs	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
<sup>226</sup> Ra	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$
<sup>230</sup> Th	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$
<sup>232</sup> Th	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$
<sup>238</sup> U	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$
<sup>235</sup> U	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$
<sup>238</sup> U	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$
<sup>239</sup> Pu	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$6,0 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$9,3 \cdot 10^{-8}$
<sup>240</sup> Pu	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-7}$
<sup>241</sup> Am	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-6}$

Продолжение таблицы 3.21

Радионуклид	Земля		Мышь		Олень		Лягушка	
	$DCF_{внутр. i, j}$	$DCF_{внеш. i, j}$	$DCF_{внутр. i, j}$	$DCF_{внеш. i, j}$	$DCF_{внутр. i, j}$	$DCF_{внеш. i, j}$	$DCF_{внутр. i, j}$	$DCF_{внеш. i, j}$
<sup>3</sup> H	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0	$1,1 \cdot 10^{-6}$	-	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0
<sup>60</sup> Co	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-4}$	-	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
<sup>90</sup> Sr	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-11}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$
<sup>137</sup> Cs	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
<sup>226</sup> Ra	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$
<sup>230</sup> Th	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-7}$
<sup>232</sup> Th	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$
<sup>235</sup> U	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$
<sup>238</sup> U	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-5}$
<sup>239</sup> Pu	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$
<sup>240</sup> Pu	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$7,0 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^{-8}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$9,0 \cdot 10^{-8}$
<sup>241</sup> Am	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	-	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$
<sup>241</sup> Am	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	-	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-6}$

Таблица 3.22 – Коэффициенты перехода радионуклидов в референтные организмы, Бк/кг сырой массы / Бк/кг сухой массы почвы [139, 144, 145]

Радионуклид	Пчела	Дождевой червь	Растение/ трава	Сосна	Мышь	Олень	Змея	Лягушка
<sup>3</sup> H	1,5·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-2</sup>
<sup>60</sup> Co	7,4·10 <sup>-2</sup>	2,7·10 <sup>-1</sup>	2,3·10 <sup>-2</sup>	3,2·10 <sup>-2</sup>	5,7·10 <sup>-2</sup>	5,7·10 <sup>-2</sup>	1,9·10 <sup>-2</sup>	7,4·10 <sup>-3</sup>
<sup>90</sup> Sr	2,1·10 <sup>-1</sup>	6,1·10 <sup>-2</sup>	6,6·10 <sup>-1</sup>	7,2·10 <sup>-1</sup>	1,5	1,5	1,2	9,7·10 <sup>-1</sup>
<sup>137</sup> Cs	1,3·10 <sup>-1</sup>	4,1·10 <sup>-2</sup>	1,1	1,6·10 <sup>-1</sup>	2,8	2,8	6,2·10 <sup>-1</sup>	4,5·10 <sup>-1</sup>
<sup>226</sup> Ra	5,3·10 <sup>-2</sup>	2,0·10 <sup>-1</sup>	1,7·10 <sup>-1</sup>	1,6·10 <sup>-2</sup>	8,9·10 <sup>-2</sup>	8,9·10 <sup>-2</sup>	2,0·10 <sup>-1</sup>	2,0·10 <sup>-1</sup>
<sup>230</sup> Th	3,0·10 <sup>-3</sup>	1,1·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-1</sup>	1,1·10 <sup>-3</sup>	1,1·10 <sup>-3</sup>	1,1·10 <sup>-3</sup>	9,5·10 <sup>-4</sup>	5,7·10 <sup>-4</sup>
<sup>232</sup> Th	3,0·10 <sup>-3</sup>	1,1·10 <sup>-2</sup>	1,5·10 <sup>-1</sup>	1,1·10 <sup>-3</sup>	1,1·10 <sup>-3</sup>	1,1·10 <sup>-3</sup>	9,5·10 <sup>-4</sup>	5,7·10 <sup>-4</sup>
<sup>234</sup> U	5,2·10 <sup>-3</sup>	3,4·10 <sup>-2</sup>	1,2·10 <sup>-1</sup>	6,5·10 <sup>-3</sup>	2,8·10 <sup>-3</sup>	2,8·10 <sup>-3</sup>	3,1·10 <sup>-3</sup>	4,5·10 <sup>-4</sup>
<sup>235</sup> U	5,2·10 <sup>-3</sup>	3,4·10 <sup>-2</sup>	1,2·10 <sup>-1</sup>	6,5·10 <sup>-3</sup>	2,8·10 <sup>-3</sup>	2,8·10 <sup>-3</sup>	3,1·10 <sup>-3</sup>	4,5·10 <sup>-4</sup>
<sup>238</sup> U	5,2·10 <sup>-3</sup>	3,4·10 <sup>-2</sup>	1,2·10 <sup>-1</sup>	6,5·10 <sup>-3</sup>	2,8·10 <sup>-3</sup>	2,8·10 <sup>-3</sup>	3,1·10 <sup>-3</sup>	4,5·10 <sup>-4</sup>
<sup>239</sup> Pu	1,9·10 <sup>-2</sup>	4,9·10 <sup>-2</sup>	1,2·10 <sup>-2</sup>	9,9·10 <sup>-4</sup>	1,4·10 <sup>-2</sup>	1,4·10 <sup>-2</sup>	1,0·10 <sup>-2</sup>	2,6·10 <sup>-2</sup>
<sup>240</sup> Pu	1,9·10 <sup>-2</sup>	4,9·10 <sup>-2</sup>	1,2·10 <sup>-2</sup>	9,9·10 <sup>-4</sup>	1,4·10 <sup>-2</sup>	1,4·10 <sup>-2</sup>	1,0·10 <sup>-2</sup>	2,6·10 <sup>-2</sup>
<sup>241</sup> Am	1,1·10 <sup>-1</sup>	1,2·10 <sup>-1</sup>	9,0·10 <sup>-2</sup>	3,7·10 <sup>-4</sup>	2,7·10 <sup>-2</sup>	2,7·10 <sup>-2</sup>	6,6·10 <sup>-2</sup>	9,8·10 <sup>-2</sup>

**Оценка мощности дозы для водоплавающих птиц (утка)**

Мощность дозы облучения *l*-го референтного вида водоплавающих птиц (*D<sub>l</sub>*), обитающего в исследуемом водном объекте, складывается из мощности дозы внутреннего облучения от радионуклида, инкорпорированного в ткани и органы вида, мощности дозы внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в воде, мощности дозы внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в почве вблизи исследуемого водоема (формула (3.20)):

$$D_l = \sum_{i=1}^N \left( (DCF_{il}^{\text{внутр.вод.}} \cdot K_{ii} + 0,5 \cdot DCF_{il}^{\text{внеш.вод.}}) \cdot C_i^{\text{вод.}} + 0,5 \cdot DCF_{il}^{\text{внеш.почв.}} \cdot C_i^{\text{поч.}} \right), \quad (3.20)$$

где  $DCF_{il}^{\text{внеш.вод.}}$ ,  $DCF_{il}^{\text{внеш.почв.}}$  – факторы дозовой конверсии для внешнего облучения *l*-го референтного вида водоплавающих птиц от *i*-го радионуклида в воде и в почве, соответственно, (мкГр/ч)/(Бк/кг сырого веса) (таблица 3.23);

$DCF_{il}^{\text{внутр.вод.}}$  – фактор дозовой конверсии для внутреннего облучения *l*-го референтного вида птиц или летающих насекомых от *i*-го радионуклида в воде, (мкГр/ч)/(Бк/кг сырого веса) (таблица 3.23);

$K_{ii}$  – коэффициент перехода радионуклидов в референтные организмы, Бк/кг сырой массы/ Бк/кг [139, 145] (таблица 3.23).

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

Таблица 3.23 – Факторы дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения утки

Радионуклид	Утка						$K_{ii}$ , Бк/кг сырой массы/ Бк/кг
	$DCF_{i,p}^{\text{внутр.}}$ (мкГр/ч)/ (Бк/кг)	в воде/ масса (мкГр/ч)/ (Бк/л)		$DCF_{i,p}^{\text{внеш.}}$ в почве/ площадь объем (мкГр/ч)/ (Бк/кг)		в воздухе/ площадь объем (мкГр/ч)/ (Бк/кг)	
<sup>3</sup> H	1,1·10 <sup>-6</sup>	3,8·10 <sup>-13</sup>	-	0	-	0	1,5·10 <sup>2</sup>
<sup>60</sup> Co	2,4·10 <sup>-4</sup>	1,3·10 <sup>-3</sup>	7,4·10 <sup>-6</sup>	4,6·10 <sup>-4</sup>	6,4·10 <sup>-6</sup>	4,7·10 <sup>-4</sup>	3,4·10 <sup>-3</sup>
<sup>90</sup> Sr	6,3·10 <sup>-4</sup>	2,0·10 <sup>-5</sup>	3,2·10 <sup>-13</sup>	1,5·10 <sup>-11</sup>	2,2·10 <sup>-13</sup>	7,2·10 <sup>-12</sup>	1,1
<sup>137</sup> Cs	1,9·10 <sup>-4</sup>	2,8·10 <sup>-4</sup>	1,8·10 <sup>-6</sup>	1,1·10 <sup>-4</sup>	1,5·10 <sup>-6</sup>	1,2·10 <sup>-4</sup>	5,5·10 <sup>-1</sup>

<sup>226</sup> Ra	1,4·10 <sup>-2</sup>	8,9·10 <sup>-4</sup>	5,2·10 <sup>-6</sup>	3,2·10 <sup>-4</sup>	4,5·10 <sup>-6</sup>	3,0·10 <sup>-4</sup>	3,5·10 <sup>-2</sup>
<sup>230</sup> Th	2,7·10 <sup>-3</sup>	2,4·10 <sup>-7</sup>	1,2·10 <sup>-9</sup>	6,5·10 <sup>-8</sup>	1,1·10 <sup>-9</sup>	1,2·10 <sup>-7</sup>	4,7·10 <sup>-4</sup>
<sup>232</sup> Th	2,5·10 <sup>-3</sup>	1,5·10 <sup>-7</sup>	6,8·10 <sup>-10</sup>	3,9·10 <sup>-8</sup>	5,7·10 <sup>-10</sup>	1,1·10 <sup>-5</sup>	4,7·10 <sup>-4</sup>
<sup>235</sup> U	2,6·10 <sup>-3</sup>	8,6·10 <sup>-5</sup>	4,9·10 <sup>-7</sup>	2,7·10 <sup>-5</sup>	4,4·10 <sup>-7</sup>	2,7·10 <sup>-5</sup>	1,5·10 <sup>-3</sup>
<sup>238</sup> U	2,5·10 <sup>-3</sup>	9,5·10 <sup>-8</sup>	3,9·10 <sup>-10</sup>	4,3·10 <sup>-8</sup>	2,9·10 <sup>-10</sup>	4,2·10 <sup>-6</sup>	1,5·10 <sup>-3</sup>
<sup>239</sup> Pu	3,0·10 <sup>-3</sup>	8,4·10 <sup>-8</sup>	4,1·10 <sup>-10</sup>	3,0·10 <sup>-8</sup>	3,2·10 <sup>-10</sup>	1,4·10 <sup>-8</sup>	2,4·10 <sup>-3</sup>
<sup>240</sup> Pu	3,0·10 <sup>-3</sup>	1,3·10 <sup>-7</sup>	6,5·10 <sup>-10</sup>	5,5·10 <sup>-8</sup>	4,7·10 <sup>-10</sup>	1,1·10 <sup>-8</sup>	2,4·10 <sup>-3</sup>
<sup>241</sup> Am	3,2·10 <sup>-3</sup>	1,0·10 <sup>-5</sup>	6,9·10 <sup>-8</sup>	2,4·10 <sup>-6</sup>	6,1·10 <sup>-8</sup>	1,6·10 <sup>-6</sup>	2,8·10 <sup>-2</sup>

### Оценка мощности дозы для водных организмов

Для водных организмов основной вклад в мощность дозы внешнего облучения дают донные отложения и вода.

Оценка проводится только для территории влияния пункта хранения, в случае если пункт хранения является водоемом, оценка мощности дозы для водных организмов, находящийся в самом пункте хранения РАО не проводится.

Мощность дозы облучения  $k$ -го референтного объекта  $D_k$  определяется путем суммирования мощностей дозы облучения этого объекта  $D_{ik}$  от всех рассматриваемых радионуклидов  $i$ .

Полный вклад  $i$ -го радионуклида в мощность дозы облучения  $k$ -го референтного водного организма (кроме водоплавающих птиц)  $D_{ik}$ , обитающего в исследуемом водном объекте, складывается из мощности дозы внутреннего облучения от радионуклида, инкорпорированного в ткани и органы водного организма  $D_{ik}^{\text{внутр}}$ , мощности дозы внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в воде  $D_{ik}^{\text{внеш.вод}}$ , мощности дозы внешнего облучения от радионуклидов, содержащихся в воде и в донных отложениях  $D_{ik}^{\text{внеш.дон}}$  (формула (3.21)):

$$D_k = \sum_{i=1}^N ((DCF_{ik}^{\text{внутр}} \cdot K_{ki} + DFC_{ik}^{\text{внеш}} \cdot \alpha_k^{\text{вод}}) \cdot C_i^{\text{вод}} + 0,5 \cdot DCF_{ik}^{\text{внеш.вод}} \cdot \alpha_k^{\text{дон}} \cdot C_i^{\text{дон}}), \quad (3.21)$$

где  $DCF_{ik}^{\text{внутр}}$ ,  $DFC_{ik}^{\text{внеш}}$ ,  $DCF_{ik}^{\text{внеш.вод}}$  – факторы дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения  $k$ -го объекта биоты от  $i$ -го радионуклида в воде, соответственно, (мкГр/ч)/(Бк/кг) (таблица 3.24);

$K_{ki}$  – коэффициент перехода радионуклидов в референтные организмы, Бк/кг сырой массы/ Бк/л воды сырой (таблица 3.25);

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

$\alpha_k^{\text{вод}}$ ,  $\alpha_k^{\text{дон}}$  – коэффициенты, учитывающие время, которое  $k$ -й референтный организм проводит в воде и вблизи дна, соответственно (таблица 3.26).

Таблица 3.24 – Факторы дозовой конверсии для внутреннего ( $DCF^{внутр}_{i,k}$  (мкГр/ч)/(Бк/кг)) и внешнего ( $DCF^{внеш}_{i,k}$  (мкГр/ч)/(Бк/л)) облучения водных организмов

Радио-нуклид	Пелагическая рыба (планктофаг)		Придонная рыба (бентофаг)		Моллюски		Водные растения		Водные млекопитающие	
	$DCF^{внутр}_{i,k}$	$DCF^{внеш}_{i,k}$	$DCF^{внутр}_{i,k}$	$DCF^{внеш}_{i,k}$	$DCF^{внутр}_{i,k}$	$DCF^{внеш}_{i,k}$	$DCF^{внутр}_{i,k}$	$DCF^{внеш}_{i,k}$	$DCF^{внутр}_{i,k}$	$DCF^{внеш}_{i,k}$
$^3\text{H}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-14}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$8,1 \cdot 10^{-13}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-12}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-14}$
$^{60}\text{Co}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-5}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$
$^{90}\text{Sr}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
$^{137}\text{Cs}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
$^{226}\text{Ra}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$9,1 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$9,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$
$^{230}\text{Th}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$
$^{232}\text{Th}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
$^{234}\text{U}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$
$^{235}\text{U}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$9,0 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$9,2 \cdot 10^{-5}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$
$^{238}\text{U}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$
$^{239}\text{Pu}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$
$^{240}\text{Pu}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$
$^{241}\text{Am}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$

Таблица 3.25 – Коэффициенты перехода радионуклидов в референтные организмы, Бк/кг сырой массы / Бк/л воды [139, 144, 145]

Радионуклид	Придонная рыба (бентофаг)		Моллюски		Водные растения		Пелагическая рыба (планктофаг)		Водные млекопитающие	
	$^i$	$^k$	$^i$	$^k$	$^i$	$^k$	$^i$	$^k$	$^i$	$^k$
$^3\text{H}$										
$^{60}\text{Co}$	$4,8 \cdot 10^3$		$3,4 \cdot 10^3$		$1,7 \cdot 10^3$		$4,8 \cdot 10^3$		$5,0 \cdot 10^2$	
$^{90}\text{Sr}$	$2,5 \cdot 10^1$		$1,1 \cdot 10^2$		$2,9 \cdot 10^1$		$2,5 \cdot 10^1$		$1,6 \cdot 10^2$	
$^{137}\text{Cs}$	$8,2 \cdot 10^1$		$6,0 \cdot 10^1$		$8,5 \cdot 10^1$		$8,2 \cdot 10^1$		$2,1 \cdot 10^2$	
$^{226}\text{Ra}$	$1,4 \cdot 10^2$		$5,7 \cdot 10^1$		$1,7 \cdot 10^2$		$1,4 \cdot 10^2$		$1,6 \cdot 10^2$	
$^{230}\text{Th}$	$1,2 \cdot 10^2$		$6,5 \cdot 10^2$		$2,0 \cdot 10^3$		$1,2 \cdot 10^2$		$1,2 \cdot 10^2$	
$^{232}\text{Th}$	$1,2 \cdot 10^2$		$6,5 \cdot 10^2$		$2,0 \cdot 10^3$		$1,2 \cdot 10^2$		$1,2 \cdot 10^2$	
$^{234}\text{U}$	$4,6$		$3,5 \cdot 10^1$		$6,8 \cdot 10^1$		$4,6$		$1,2 \cdot 10^2$	
$^{235}\text{U}$	$4,6$		$3,5 \cdot 10^1$		$6,8 \cdot 10^1$		$4,6$		$1,2 \cdot 10^2$	
$^{238}\text{U}$	$4,6$		$3,5 \cdot 10^1$		$6,8 \cdot 10^1$		$4,6$		$1,2 \cdot 10^2$	
$^{239}\text{Pu}$	$1,4 \cdot 10^3$		$7,3 \cdot 10^2$		$4,1 \cdot 10^3$		$1,4 \cdot 10^3$		$1,2 \cdot 10^3$	
$^{240}\text{Pu}$	$1,4 \cdot 10^3$		$7,3 \cdot 10^2$		$4,1 \cdot 10^3$		$1,4 \cdot 10^3$		$1,2 \cdot 10^3$	
$^{241}\text{Am}$	$3,3 \cdot 10^2$		$2,2 \cdot 10^4$		$4,6 \cdot 10^2$		$3,3 \cdot 10^2$		$1,2 \cdot 10^3$	

Таблица 3.26 – Рекомендуемые значения параметров  $\alpha_k^{\text{вод.}}$ ,  $\alpha_k^{\text{дон.}}$  для различных представительных организмов биоты

Объект биоты	$\alpha_k^{\text{вод.}}$	$\alpha_k^{\text{дон.}}$
Рыба пелагическая	1,0	0,2
Рыба придонная	1,0	0,8
Моллюски	1,0	1,0
Водные растения	1,0	1,0
Водные млекопитающие	1,0	0,1

Численные значения факторов дозовой конверсии для внешнего облучения референтных видов водной биоты приведены в [139, 141, 144, 145].

#### **Шаг 4. Оценка численности объектов живой природы, которые консервативно считаются уничтоженными**

Следующим шагом является оценка числа и видов объектов живого мира. Оценка проводится для групп видов биоты, соответствующих референтным объектам, консервативно признанным «погибшими» по результатам предшествующих оценок, с учетом площади участка и на основе данных по средней численности, приведенных в таблице 3.27 [2]. Если есть уверенность, что данные по средней численности должны быть скорректированы, то они корректируются по условиям местонахождения ПХРО.

Таблица 3.27 – Средняя численность видов, для которых проводится оценка совокупного вреда от радиационного воздействия

Виды биоты	Средняя численность всех видов на 1000 м <sup>2</sup> для расчетов вреда	Референтный объект – аналог
<i>Млекопитающие крупные</i> <i>Охотничьи ресурсы</i> Лось, сибирский горный козел, кабан, северный олень, кабарга, благородный олень, пятнистый олень, лань, туры, сайгак, косуля, муфлон, медведи, рысь, волк, лисица, шакал	0,1	Олень
<i>Млекопитающие мелкие</i> <i>Охотничьи ресурсы</i> Сурок, бобр, куница, соболь, выдра, ондатра, песец, норка, хори, зайцы, горностай, ласка, белки, кроты, хорь, бурундук	0,2	Мышь
<i>Иные виды</i> Семейство Ежовые, семейство Землеройковые, семейство Кротовые, семейство Мышиные, семейство Хомяковые	10	

Продолжение таблицы 3.27

Виды биоты	Средняя численность на 1000 м <sup>2</sup> для расчетов вреда	Референтный объект – аналог
<p><i>Птицы</i>  <i>Охотничьи ресурсы</i>  Глухари, тетерев, фазаны, гуси, казарки, утки, рябчик, куропатки, голуби, вальдшнеп, перепела, коростель, горлицы  Отряд Аистообразные, средняя белая цапля, колпица, черный аист;  Отряд Гусеобразные, краснозобая казарка, малый лебедь, нырок (чернеть) Бэра, белоглазый нырок (чернеть), савка;  Отряд Соколообразные, скопа, степной лунь, хохлатый орел, степной орел, большой подорлик, малый подорлик, могильник, беркут, орлан-долгохвост, орлан-белохвост, белоголовый орлан, кречет, сапсан, степная пустельга;  Отряд Курообразные, среднерусская белая куропатка;  Отряд Журавлеобразные, стерх, черный журавль, красавка, дрофа, стрепет;  Отряд Ржанкообразные, авдотка, белая чайка, малая крачка, короткокловый пыжик;  Отряд Совообразные, филин, рыбный филин;  Отряд Дятлообразные, европейский средний дятел, рыжебрюхий дятел;  <i>Иные виды</i>  Отряд Гагарообразные, Отряд Поганкообразные, Отряд Трубноносые, Отряд Веслоногие, Отряд Аистообразные, Отряд Гусеобразные, Отряд Соколообразные, Отряд Журавлеобразные, Отряд Ржанкообразные, Отряд Кукушкообразные, Отряд Совообразные, Отряд Козодоеобразные, Отряд Стрижеобразные, Отряд Ракшеобразные, Отряд Дятлообразные, Отряд Воробьинообразные</p>	20	Утка
<p><i>Позвоночные животные</i>  Класс Земноводные,  Отряд Хвостатые: обыкновенный тритон сибирский углозуб  Отряд Бесхвостые: прудовая лягушка, озерная лягушка, травяная лягушка, сибирская лягушка, обыкновенная квакша, обыкновенная жаба; краснобрюхая жерлянка</p>	15	Лягушка
<p><i>Позвоночные животные</i>  Класс Пресмыкающиеся,  Отряд Ящерицы: Степная агама, луговая ящерица прыткая ящерица, ломкая веретеница  Отряд Змеи: уж обыкновенный, водяной уж, обыкновенная гадюка, обыкновенная медянка, желтобрюхий полоз</p>	20	Змея
<p><i>Беспозвоночные животные</i>  Наземные моллюски (брюхоногие): слизень, прудовик, физиды, роговая катушка, виноградная улитка</p>	30	Улитка (брюхоногие)



Продолжение таблицы 3.27

Виды биоты	Средняя численность на 1000 м <sup>2</sup> для расчетов вреда	Референтный объект – аналог
<i>Беспозвоночные животные</i> Класс Насекомые, Отряд Стрекозы: стрекоза Отряд Прямокрылые: кузнечик саранча, сверчок. Отряд Жесткокрылые: жужелица, дровосек, лилейная трещалка, божьи коровки (двухточечная, двадцатиточечная и др.), майский жук. Отряд Переопночатокрылые: пчела оса, шмель, наездник Отряд Чешуекрылые: лимонница обыкновенная, белянка капустная (капустница), пестрокрылица изменчивая (шоколадница), павлиний глаз, крапивница обыкновенная	-	Пчела
<i>Беспозвоночные животные</i> Кольчатые черви: дождевой червь (земляной червь), трубочник обыкновенный, эйзения	-	Дождевой червь
<i>Рыбы</i> Белый толстолобик; муксун, голец, форель всех видов, омуль, судак, хариус, сазан, щука, толстолобик, вобла, тугун, окунь, плотва	30	Рыба пелагическая
<i>Рыбы</i> Карп, сом, лещ, сазан, окунь щука, налим	30	Рыба придонная
<i>Водные беспозвоночные</i> Моллюски: Перловица обыкновенная, речная дрейссена, бетиния, европейская жемчужница, коловратки, веслоногие моллюски, хирономиды (личинки) Ракообразные: веслоногие ракообразные, речные раки, брюхоногие моллюски Кормовые организмы, мотыль, гаммарус, трубочник, артемия, полихеты и другие.	-	Моллюски
<i>Водоросли</i> Рдестовые водоросли, харовые водоросли, элодея, лягушечник (водокрас), частуха, взморник (зостера), руппия, морские травы	-	Водные растения

### **Шаг 5. Оценка денежного эквивалента совокупного размера возможного вреда окружающей среде**

Согласно разработанному подходу [2, 7, 146, 147], оценка денежного эквивалента совокупного размера возможного вреда окружающей среде производится в соответствии с нормативно-методическими документами в области охраны окружающей среды [148-152]. Для оценки эколого-экономического ущерба используются таксы/нормативы за ущерб, причиненный уничтожением объектов животного и растительного мира, а также таксы/нормативы, утвержденные в соответствии с порядком, установленным законодательством Российской Федерации (таблица 3.28).

Таблица 3.28 – Действующие нормативно-правовые документы, используемые для оценки денежного эквивалента совокупного размера возможного вреда окружающей среде от радиоактивного загрязнения территории

Компонент ущерба	Нормативно-правовые документы
Объекты животного мира	<p>Методика 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. Утв. приказом Минприроды России от 28.04.2008 г. № 107 (с изменениями и дополнениями от 12.12.2012 г.) [148]</p> <p>Методика исчисления размера вреда, причиненного охотничьим ресурсам. Утв. приказом Минприроды России от 08.12.2011 г. № 948 (с изменениями на 17.11.2017 г.) [150]</p>
Почва	<p>Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды. Утв. приказом Минприроды России № 238 от 08.07.2010 г. (с изменениями на 11.07.2018 г.) [151]</p>
Объекты растительного мира	<p>Постановление Правительства РФ от 29.12.2018 г. № 1730 «Об утверждении особенностей возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства» (с изменениями на 18.12.2020 г.) [152]</p> <p>Приказ Минприроды России от 01.08.2011 г. № 658 «Об утверждении такс 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» [149]</p>
Водные биологические ресурсы	<p>Федеральный закон № 166-ФЗ от 20.12.2004 г. «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» [153]</p> <p>Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства. Утв. приказом Минприроды России от 13.04.2009 г. № 87 (с изменениями и дополнениями от 31.01.2014 г., 26.08.2015 г.) [154]</p> <p>Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам. Утв. приказом Минсельхоза России от 31.03.2020 г. № 167 [155]</p> <p>Постановление Правительства РФ от 26.09.2000 г. № 724 «Об изменении такс для исчисления размера взыскания за ущерб, причиненный водным биологическим ресурсам» (с изменениями от 03.11.2018 г.) [156]</p>

**Оценка размера экономического ущерба от вреда, причиненного объектам животного мира**

Для проведения оценки необходимо воспользоваться данными сформированной таблицы 3.27 и таксами/нормативами, утвержденными приказами Минприроды Российской Федерации от 12.12.2012 № 429 [144], от 01.08.2011 № 658 [149], от 17.11.2017 № 612 [150] и др. документами, приведенными в таблице 3.28, в соответствии с формулой (3.22):

$$B_{\text{ж}} = \sum_{i=1}^N N_i \cdot HC_i, \quad (3.22)$$

где  $N_i$  – количество уничтоженных особей (экземпляров)  $i$ -го одного вида, экз.;

$HC_i$  – норматив стоимости объекта животного мира  $i$ -го вида, определенный в соответствии с таблицами 3.29-3.31, руб./экз.;

$N$  – общее число видов объектов животного мира, которые консервативно считаются уничтоженными.

Таблица 3.29 – Таксы для исчисления размера вреда, причиненного охотничьим ресурсам [150]

№ п/п	Виды охотничьих ресурсов	Такса (рублей за 1 особь)
1.	Лось, сибирский горный козел, овцебык	80000
2.	Кабан, дикий северный олень	30000
3.	Благородный олень	70000
4.	Пятнистый олень, лань, туры, сайгак, кабарга	60000
5.	Косули, муфлон, серна	40000
6.	Снежный баран	100000
7.	Гибрид зубра с бизоном, домашним скотом	180000
8.	Медведи	60000
9.	Барсук	12000
10.	Сурки, бобры, куницы, харза	6000
11.	Соболь, выдра, россомаха	15000
12.	Рысь	40000
13.	Волк, лисица, шакал, енот-полоскун, енотовидная собака	200
14.	Песец, корсак, дикие кошки, норки, зайцы, дикий кролик	1000
15.	Горностай, солонгой, ласка, ондатра, хори, колонок, белки, бурндуки, летяга	500
16.	Кроты, водяная полевка, хомяки, суслики	100
17.	Глухари	6000
18.	Тетерев, фазаны, улары, саджа	2000
19.	Гуси, казарки	1000
20.	Утки, рябчик, куропатки, кеклик, голуби, лысуха, вальдшнеп	600
21.	Перепела, пастушок, обыкновенный погонищ, коростель, камышница, чибис, тулес, хрустан, камнешарка, турухтан, травник, улиты, мородунка, веретенники, кроншнепы, бекасы, дупеля, гаршнеп, горлицы	200

Таблица 3.30 – Нормативы стоимости объектов животного мира, не относящихся к видам, занесенным в Красную книгу Российской Федерации [148]

Виды объектов животного мира	Единица измерения	Норматив стоимости, руб.
<i>Беспозвоночные животные</i>		
Кольчатые черви, почвенные моллюски и др. почвенные беспозвоночные животные		
Зона арктических пустынь	руб./м <sup>2</sup>	22
Зона тундры	"-	26
Зона лесотундры	"-	46
Зона тайги	"-	66
Зона смешанных лесов	"-	143
Зона широколиственных лесов	"-	220
Лесостепная зона	"-	220
Степная зона:	"-	
черноземная степь	"-	484
луговая степь	"-	88
сухая степь	"-	44
Тип Членистоногие - Phylum Arthropoda		
<i>Класс Насекомые - Class Insecta</i>	руб./м <sup>2</sup>	50
<i>Позвоночные животные</i>		
<i>Класс Земноводные - Classis Amphibia</i>		
Отряд Хвостатые - Ordo Caudata (тритоны)	"-	100
Отряд Бесхвостые - Ordo Anura (лягушки)	"-	100
<i>Класс Пресмыкающиеся - Classis Reptilia</i>		
Отряд Черепахи - Ordo Testudines	руб./экз.	1000
Отряд Ящерицы - Ordo Sauria	"-	500
Отряд Змеи - Ordo Serpentes	"-	3000
<i>Класс Птицы - Classis Aves</i>		
Отряд Гагарообразные - Ordo Gaviiformes	руб./экз.	3000
Отряд Поганкообразные - Ordo Podicipediformes	"-	2000
Отряд Трубноносые - Ordo Procellariiformes	"-	3000
Отряд Веслоногие - Ordo Pelecaniformes	"-	3000
Отряд Аистообразные - Ordo Ciconiiformes	"-	10000
Отряд Гусеобразные - Ordo Anseriformes	"-	3000
Отряд Соколообразные - Ordo Falconiformes	"-	5000
Отряд Журавлеобразные - Ordo Gruiformes	"-	10000
Отряд Ржанкообразные - Ordo Charadriiformes	"-	1000
Отряд Кукушкообразные - Ordo Cuculiformes	"-	2000
Отряд Совообразные - Ordo Strigiformes	"-	5000
Отряд Козодоеобразные - Ordo Caprimulgiformes	"-	2000
Отряд Стрижеобразные - Ordo Apodiformes	"-	1000
Отряд Ракшеобразные - Ordo Coraciiformes	"-	3000
Отряд Дятлообразные - Ordo Piciformes	"-	3500
Отряд Воробьинообразные - Ordo Passeriformes	"-	1000
<i>Класс Млекопитающие - Classis Mammalia</i>		
Отряд Насекомоядные - Ordo Insectivora		
Семейство Ежовые	руб./экз.	1000
Семейство Землеройковые	"-	100
Семейство Кротовые	"-	100

Продолжение таблицы 3.30

Виды объектов животного мира	Единица измерения	Норматив стоимости, руб.
Отряд Рукокрылые - Ordo Chiroptera	"-	1500
Отряд Грызуны - Ordo Rodentia		
Семейство Мышиные	"-	100
Семейство Мышовковые	"-	100
Семейство Соневые	"-	500
Семейство Тушканчиковые	"-	500
Семейство Летяговые (Pteromyidae)	"-	1000
Семейство Слепышковые	"-	500
Семейство Хомяковые	"-	200

Таблица 3.31 – Таксы для исчисления размера ущерба, причиненного лесным насаждением, заготовка которых не допускается (для некоторых субъектов РФ) [152]

Субъект РФ	Таксы за единицу объема уничтоженных, поврежденных или срубленных деревьев, руб./куб. м	Таксы за 1 уничтоженный или поврежденный кустарник, руб.
Удмуртская Республика	8560	291
Красноярский край	4110	139,7
Приморский край	8856	301,1
Воронежская область	12474	424,1
Калужская область	6552	222,8
Камчатская область	3690	125,5
Кировская область	4824	164
Московская область и г. Москва	18500	629
Мурманская область	11034	375,2
Нижегородская область	11124	378,2
Новосибирская область	5310	180,5
Свердловская область	6238	212,1
Ульяновская область	12582	427,8
Челябинская область	5742	195,2
Забайкальский край	2880	97,9

С целью учета возможности уничтожения кладок яиц птицы или рептилии размер экономического ущерба исчисляется в пятикратном размере по отношению к размеру экономического ущерба от уничтожения одной особи данного вида.

Для кладок икры амфибии размер экономического ущерба исчисляется в десятикратном размере по отношению к размеру экономического ущерба от уничтожения одной особи данного вида.

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 экономического ущерба для птиц и млекопитающих умножается на  $K_{воспр.} = 5$ ;

Исчисление размера экономического ущерба от уничтожения почвенных беспозвоночных животных, производится на основе данных по площади участков и данных таблицы 3.30 для беспозвоночных животных и насекомых и отражает вред, причиненный среде обитания объектов животного мира.

В случае наличия уничтоженных объектов животного мира, занесенных в Красную книгу, расчеты производятся в соответствии с [149].

### **Оценка размера экономического ущерба от вреда, причиненного объектам растительного мира**

Размер экономического ущерба определяется в соответствии с таксами и методикой, предусмотренными особенностями возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 29.12.2018 № 1730 (ред. от 18.12.2020) [152].

Размер экономического ущерба от 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 экономического ущерба от вреда объектам растительного мира, для которых были превышены безопасные уровни облучения.

Перечень видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается, утвержден приказом Рослесхоза Российской Федерации от 05.12.2011 № 513 [157].

Оценка размера экономического ущерба от 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 [149].

### **Оценка размера экономического ущерба от вреда, причиненного водным биологическим ресурсам**

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 20.12.2004 № 166-ФЗ [153] возмещение экономического ущерба от вреда, причиненного водным биоресурсам, осуществляется в соответствии с утвержденными в установленном порядке таксами и методиками исчисления размера ущерба, причиненного водным биоресурсам вреда, а при их отсутствии, исходя из затрат на восстановление водных биоресурсов.

Исчисление размера экономического ущерба от вреда, причиненного водным биологическим ресурсам, производится по методике [155].

Исчисление размера экономического ущерба от уничтожения, незаконного вылова или добычи водных биологических ресурсов, производится согласно соответствующим таксам, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации № 1321 от 03.11.2018 [156] (таблица 3.32).

Таблица 3.32 – Таксы для исчисления размера ущерба, причиненного некоторым водным биологическим ресурсам [156]

Водные биологические ресурсы	Такса (рублей за 1 экземпляр независимо от размера и веса)
<i>Проходные, полупроходные и пресноводные рыбы:</i>	
амурский осетр, сибирский осетр	160456
персидский осетр, русский осетр	138024
севрюга	70393
белорыбица	11148
нерка	11575
нельма	10811
кижуч, таймень	10635
сима, кужма	5128
судак, кутум	3305

кета	2009
горбуша	961
кунджа, гольцы, паляя, форель всех видов, ленок, омуль арктический, сиг-пыжьян, пелядь, мальма, хариус, усачи, рыбец (сырть), жерех, шемая, сазан, карп, щука, белый амур, толстолобик, сом пресноводный	925
кефаль всех видов, сельдь-черноспинка	685
рипус, тарань, вобла, ряпушка, лещ	500
тугун, голавль, подуст, окунь пресноводный	250
<i>Водные беспозвоночные:</i>	
креветки равнолапые, креветка северная	69
другие виды креветок	47
брюхоногие моллюски, устрицы, мидии	22
другие двусторчатые моллюски, морские звезды, змеехвостики, другие иглокожие	5
<i>Водоросли:</i>	
водоросли «сидячих» видов	36 (рублей за 1 килограмм)

### ***Ситуация размещения РАО на радиационно-загрязненной территории с лесными насаждениями вне промышленной площадки организации***

В ситуациях, когда по тем или иным причинам РАО размещены вне промышленной площадки организации, но на радиационно-загрязненных территориях с ограниченным природопользованием, оценку вреда окружающей среде следует проводить, опираясь на принятые в России законодательные акты [37, 38, 144, 150, 152, 157-168] и разработанные в ИБРАЭ РАН методические рекомендации (см. Приложение 6).

Под радиоактивным загрязнением территории, согласно приказу Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 08 июня 2017 г. №283 «Об утверждении Особенности осуществления профилактических и реабилитационных мероприятий в зонах радиоактивного загрязнения лесов», принимается такой уровень удельной активности корнеобитаемого слоя почвы, который в случае приведения к поверхности почвы составит величину поверхностной плотности загрязнения:

- цезием-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) больше или равную  $37 \text{ кБк/м}^2 (\geq 1 \text{ Ки/км}^2)$ ;
- и/или стронцием-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) больше или равную  $5,55 \text{ кБк/м}^2 (\geq 0,15 \text{ Ки/км}^2)$ ;
- и/или плутонием-239 ( $^{239}\text{Pu}$ ) больше или равную  $0,37 \text{ кБк/м}^2 (\geq 0,01 \text{ Ки/км}^2)$ .

В данных условиях рекомендуется рассматривать список биологически значимых радионуклидов, имеющих значительный период полураспада. По критерию формирования доз внешнего облучения для человека таких нуклидов, рассматриваемых в проекте методических рекомендаций, – 20 шт., а по критерию формирования доз внутреннего облучения – 12 шт.

Для случаев загрязнения территории лесных насаждений другими техногенно-образованными радионуклидами принимается, что зона радиоактивного загрязнения определяется через средние годовые эффективные дозы облучения лиц категории населения, с учётом использования/потребления лесных ресурсов, которые должны быть эквивалентны аналогичной средней годовой эффективной дозе для установленных федеральным органом исполнительной власти уровней загрязнения радионуклидами  $^{137}\text{Cs}$  и/или  $^{39}\text{Pu}$ .

При определении уровня загрязнения территории конкретным радионуклидом выбирается наименьшее значение, полученное по двум критериям и приказу Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 08 июня 2017 г. №283.

**Пример подведения итогов в разделе «Оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения для ПХ ТРО АО «Магнит».**

*Подведение итогов расчета мощности доз на живые организмы*

*В расчетах учтено внешнее облучение и внутреннее облучение от радионуклидов, накопленных организмами биоты. Расчеты мощности дозы облучения организмов биоты были выполнены на основе данных по загрязнению участков территории, приведенных в таблице \_\_\_\_, и факторов дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения каждого референтного объекта биоты и каждого из приведенных в таблице \_\_\_\_ радионуклида, коэффициентов перехода радионуклидов в референтные организмы. Для водных организмов также применялись коэффициенты, определяющие долю времени, которую референтный организм проводит в воде и вблизи дна. В качестве соответствующих коэффициентов принимались коэффициенты из работы [ссылки].*

*Данные таблицы 3.33 показывают, что экологически безопасные уровни облучения референтных объектов биоты не превышаются в отношении всех референтных объектов.*

Таблица 3.33 – Результаты оценок мощностей доз

Вид	Мощность дозы облучения, $D_{ij}$ , Гр/сут	Экологический безопасный уровень облучения, Гр/сут
Олень	$3,3 \cdot 10^{-5}$	0,001
Мышь	$3,9 \cdot 10^{-5}$	0,001
Утка	$1,2 \cdot 10^{-6}$	0,001
Лягушка	$2,7 \cdot 10^{-5}$	0,001
Змея	$2,4 \cdot 10^{-4}$	0,001
Пчела	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,001
Дождевой червь	$6,6 \cdot 10^{-6}$	0,001
Рыба пелагическая	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,001
Рыба придонная	$3,3 \cdot 10^{-6}$	0,001
Моллюски	$5,9 \cdot 10^{-6}$	0,001
Водные растения	$3,0 \cdot 10^{-5}$	0,01
Трава	$3,2 \cdot 10^{-5}$	0,01
Сосна	$6,6 \cdot 10^{-6}$	0,01

*С учетом выполненных оценок можно утверждать, что совокупный размер возможного вреда окружающей среде полагается равным нулю.*

**Пример подведения итогов в разделе «Оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения для ПХ ЖРО ФГУП «Ларс»:**

*В расчетах мощности дозы облучения организмов биоты учтено внешнее облучение и внутреннее облучение от радионуклидов, накопленных организмами биоты. Расчеты мощности дозы были выполнены на основе данных по загрязнению участков территории, приведенных в таблице \_\_\_\_, и факторов дозовой конверсии для внутреннего и внешнего облучения каждого референтного объекта биоты и каждого из приведенных в таблице \_\_ радионуклида, коэффициентов перехода радионуклидов в референтные организмы. Для водных организмов также применялись коэффициенты, определяющие долю времени, которую референтный организм проводит в воде и вблизи дна. В качестве соответствующих коэффициентов принимались коэффициенты из работ [ссылки].*

*Данные таблицы 3.34 показывают, что экологически безопасные уровни облучения референтных объектов биоты превышаются для следующих референтных видов – мышь, дождевой червь, рыба пелагическая, сосна.*



Таблица 3.34 – Результаты оценок мощностей доз

<i>Вид</i>	<i>Мощность дозы облучения, D<sub>ij</sub>, Гр/сут</i>	<i>Экологический безопасный уровень облучения, Гр/сут</i>
<i>Олень</i>	<i>0,00001</i>	<i>0,001</i>
<i>Мышь</i>	<i>0,2</i>	<i>0,001</i>
<i>Утка</i>	<i>-</i>	<i>0,001</i>
<i>Лягушка</i>	<i>-</i>	<i>0,001</i>
<i>Змея</i>	<i>-</i>	<i>0,001</i>
<i>Пчела</i>	<i>-</i>	<i>0,001</i>
<i>Дождевой червь</i>	<i>0,005</i>	<i>0,001</i>
<i>Рыба пелагическая</i>	<i>0,008</i>	<i>0,001</i>
<i>Рыба придонная</i>	<i>-</i>	<i>0,001</i>
<i>Моллюски</i>	<i>-</i>	<i>0,001</i>
<i>Водные растения</i>	<i>-</i>	<i>0,01</i>
<i>Трава</i>	<i>-</i>	<i>0,01</i>
<i>Сосна</i>	<i>0,02</i>	<i>0,01</i>

Оценка числа и видов объектов живого мира консервативно признанным «уничтоженными» по результатам предшествующих оценок выполнена с учетом площади участка и на основе данных по средней численности, уточненных с учетом местных условий. Результаты оценок приведены в таблице 3.35.

Таблица 3.35 – Оценка численности уничтоженных объектов живой природы

<i>Вид</i>	<i>Предусматривается воз- можность «уничтожения» следующих видов</i>	<i>Численность «уничтожен- ных»</i>
<i>Олень</i>	<i>Нет</i>	<i>-</i>
<i>Мышь</i>	<i>Да</i>	<i>1000 шт.</i>
<i>Утка</i>	<i>Нет</i>	<i>-</i>
<i>Лягушка</i>	<i>Нет</i>	<i>-</i>
<i>Змея</i>	<i>Нет</i>	<i>-</i>
<i>Пчела</i>	<i>Нет</i>	<i>-</i>
<i>Дождевой червь</i>	<i>Да</i>	<i>500 м<sup>2</sup></i>
<i>Рыба пелагическая</i>	<i>Да</i>	<i>-</i>
<i>Рыба придонная</i>	<i>Нет</i>	<i>-</i>
<i>Моллюски</i>	<i>Нет</i>	<i>-</i>
<i>Водные растения</i>	<i>Нет</i>	<i>-</i>
<i>Трава</i>	<i>Нет</i>	<i>-</i>
<i>Сосна</i>	<i>Да</i>	<i>500 м<sup>2</sup></i>

Оценка совокупного размера возможного вреда окружающей среде складывается из экономического ущерба от вреда, причиненного:

- объектам животного мира и среде обитания;
- объектам растительного мира;
- водным биологическим ресурсам.

По условиям размещения ПХРО оценка вреда водным биологическим ресурсам не рассматривалась.

Оценка денежного эквивалента совокупного размера возможного вреда окружающей среде произведена в соответствии с нормативно-методическими документами в

области охраны окружающей среды. Согласно [пособие] для оценки вреда использовать таксы/нормативы за ущерб, причиненный уничтожением объектов животного и растительного мира.

Оценка ущерба от уничтожения объектов животного мира выполнена на основе такс/нормативов, утвержденных приказами Минприроды Российской Федерации от 28.04.2008 г. № 107 [148], от 01.08.2011 г. № 658 [149], от 08.12.2011 г. № 948 г. [150].

При разрушении обитаемых либо регулярно используемых гнезд, нор, логовиц, убежищ, жилищ и других сооружений объектов животного мира, относящихся к позвоночным животным, используемых для воспроизводства (размножения), размер экономического ущерба для птиц и млекопитающих умножается на  $K_{\text{воспр}} = 5$ .

Оценка ущерба для мышей: 100 руб./экз. · 1000 экз. · 5 = 500 тыс. руб.

Оценка ущерба для дождевых червей (зона смешанных лесов):  $500 \text{ м}^2 \cdot 143 \text{ руб./м}^2 = 0,07 \text{ млн руб.}$

Оценка размера экономического ущерба от вреда, причиненного объектам растительного мира, выполнена при условии уничтожении  $1000 \text{ м}^3$  деревьев.

Оцененная величина ущерба для Челябинской области:  $5742 \text{ руб./м}^3 \cdot 1000 \text{ м}^3 = 5,7 \text{ млн руб.}$

Итого, оценка совокупного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения составит – 6,27 млн руб.

### 3.10 Оценка затрат, связанных с удалением РАО

Общие подходы и допущения, принятые при выполнении оценки затрат, связанных с удалением РАО, приведены в разделе 3.8.

Для обоснования отнесения РАО к особым не требуется чрезмерная детализация работ, связанных с удалением РАО, предлагается начать оценку с наиболее финансово затратных операций (организация может уточнить последовательность и детализацию работ):

- передача РАО на захоронение в ПЗРО (на основании тарифов на захоронение РАО и оценок конечных объемов после переработки и кондиционирования);
- закупка контейнеров (на основании данных о конечном объеме РАО после переработки и среднерыночной стоимости контейнеров);
- транспортировка РАО в централизованный ПЗРО;
- переработка РАО;
- хранение РАО до извлечения;
- и др.

Из перечисленных операций, в случае если они предусмотрены сценарием удаления РАО, выбираются наиболее затратные работы по обращению с РАО (например, передача РАО на захоронение в ПЗРО), для них выполняется оценка затрат, проверяется выполнение неравенства (3.17), в случае его невыполнения, проводится оценка затрат для следующего этапа обращения с РАО при их извлечении из ПХРО и т. д.

В случае, если в организации есть данные по удельным затратам на отдельные виды операций по обращению с РАО, например, есть собственные мощности по извлечению, переработке, кондиционированию, транспортировке РАО и т. д., либо ранее были выполнены аналогичные работы, должны быть использованы данные организации.

Результаты оценок затрат, связанных с удалением РАО, заносятся в таблицу, пример которой представлен ниже (таблица 3.36). Обоснование должно содержать пояснения к каждой приведенной в таблице величине.

По завершению расчетов в таблицу 3.36 могут быть добавлены оценки затрат, полученные при выполнении работ для аналогичных этапов для варианта захоронения РАО в месте их нахождения (например, затраты на проведение КИРО, реабилитацию и др.), в случае если есть обоснование того, что стоимость работ будет близка.

Отметим, что при выполнении обоснования отнесения РАО к особым таблица 3.36 может быть заполнена не полностью. Как показывает анализ выполненных в рамках первичной регистрации РАО обоснований отнесения РАО к особым РАО, в большинстве случаев для обоснования выполнения неравенства (3.17) потребовалось выполнить только оценки, связанные с захоронением РАО в ПЗРО.

*Для обоснования отнесения РАО к удаляемым* требуется выполнить оценку затрат всех этапов обращения с отходами.

Таблица 3.36 – Результаты оценки затрат, связанных с удалением РАО, согласно разработанному сценарию

Этап	Наименование этапа	Оценка затрат, млн руб.
Этап 0	Проведение КИРО, разработка программы работ, разработка проекта работ, в том числе отчета по обоснованию безопасности, получение лицензии (строка может быть заполнена с учетом полученной оценки для варианта захоронения РАО на месте) Проведение подготовительных мероприятий	
Этап 2	Извлечение РАО, а также строительных конструкций и грунтов, загрязненных до уровней выше ПЗУА [7]	
	Затраты на сортировку РАО	
	Затраты на переработку РАО	
	Затраты на кондиционирование и паспортизацию РАО	
	Затраты на транспортировку РАО в централизованный ПЗРО	
	Затраты на захоронение РАО	
	Др. работы, согласно сценарию удаления РАО	
Этап 4	ВЭ ПХРО, реабилитация территории	
Оценка затрат, связанных с удалением РАО		

Ниже приводится подход выполнения оценок затрат, связанных с удалением РАО, а также ряд справочных данных.

#### ***Общий подход и допущения***

Методические подходы к оценке затрат на работы по удалению РАО из ПХРО и ликвидации его строительных элементов (ВЭ ПХРО), как и для прочих строительно-монтажных работ, не отличаются от описанных в разделе 3.8 для консервации пункта размещения особых РАО и аналогично базируются на методах и приказах, используемых при составлении сводного сметного расчета.

#### ***Методика оценки прямых затрат на обращение с удаляемыми РАО***

На предпроектном этапе для решения задач планирования и обоснования концепции обращения с РАО и целевого состояния площадки их размещения, в условиях отсутствия ряда принципиально важных данных о размещенных РАО или их неточности, целесообразно рассмотреть некоторые упрощения для предварительной оценки затрат. Оценку прямых затрат на удаление РАО из ПХРО схематично можно представить, как показано на рисунке 3.4.

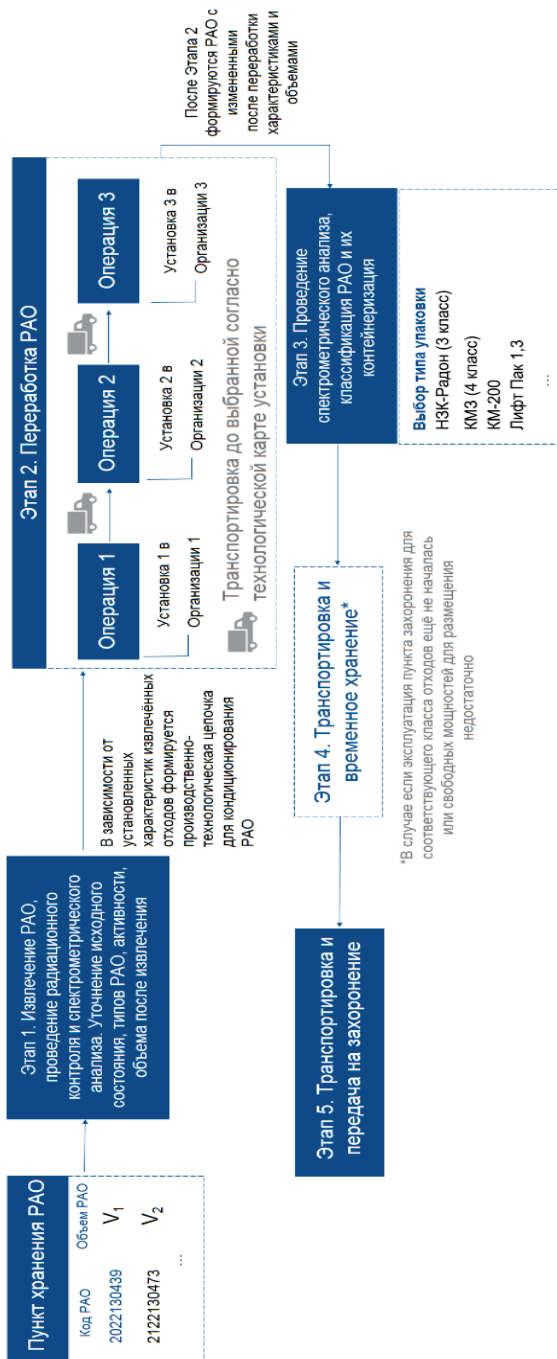


Рисунок 3.4 – Схема обращения с РАО для определения совокупной стоимости работ

Нулевой этап (подготовительный) подразумевает агрегацию исходных данных о ПХРО и размещенных РАО, их дальнейшую обработку, проведение недостающих исследований с целью устранения неточностей. Для определения величины затрат на этом этапе чаще всего используется ресурсный метод: оплата труда персонала, занятого в сборе и обработке данных, оформление необходимой документации, а также затраты на дополнительные исследования при необходимости. Также для оценки может быть использован косвенный метод, например, для оценки затрат на группу работ, в соответствии с наиболее характерными признаками.

Этап 1 включает в себя операции по извлечению РАО, радиационного контроля и характеристики отходов. Стоимость работ зависит от способа хранения РАО, их объема, категории и др. характеристик. Расценки на выполнение различных операций устанавливаются потенциальными исполнителями работ и оцениваются, как правило, ресурсным методом (с учетом трудозатрат, амортизации машин, материальных затрат и т. д.). Для оценки стоимости могут быть использованы справочные удельные стоимости, приведенные ниже.

Перед началом этапа 2 необходимо учитывать, что физический объем отходов после извлечения может измениться (например, за счет разрыхления), следовательно, в расчете следует определить коэффициент изменения объема после операции «извлечение РАО». В начале этапа 2 производится сортировка извлеченных отходов и их характеристика. В зависимости от параметров отходов (категории, типа, состояния, если отходы ранее подвергались каким-то способам переработки) определяется схематическая (упрощенная) технологическая карта переработки, которая может быть представлена в виде ориентированного графа последовательностей выполнения операций по кондиционированию РАО. Стоит отметить, что на этом этапе важной частью является прогнозирование изменения объемов образования различных типов отходов, включая вторичные РАО, после каждой операции по обращению с отходами и ВЭ ПХРО. С учетом технических и технологических особенностей и в соответствии с установленными методиками, для всех операций устанавливаются коэффициенты изменения совокупного объема РАО (например, после фрагментации и прессования металлических отходов, совокупный объем может сократиться в 2–3 раза) и определяются типы и характеристики образующихся после операции отходов. Эти параметры определяются, как правило, экспериментальным путем по итогам эксплуатации установок, имеющихся в организации, либо экспертно.

Следует выбрать способы переработки извлеченных РАО, и при необходимости выполнить оценку транспортных расходов, а также стоимость (амортизацию) и расходы на дезактивацию используемых при этом транспортных контейнеров (при необходимости).

Этап 3 предусматривает проведение спектрометрического и дозиметрического контроля, классификацию РАО и их контейнеризацию. По итогам сортировки после переработки РАО, устанавливается класс отходов в соответствии с критериями ПП 1069 [7] перед их захоронением. На данном этапе необходимо определить (спрогнозировать для целей планирования) распределение отходов на классы в соответствии с требованиями по захоронению. Практика показывает, что удельная активность РАО, извлеченных из одного ПХРО, может отличаться на порядки, как и доля радионуклидов, определяющих класс РАО. При этом зачастую на этапе планирования известна только средняя удельная активность РАО, находящихся в ПХ.

### *Оценка затрат на закупку контейнеров*

Стоимость контейнеризации складывается из закупочной стоимости контейнеров каждого типа с учетом стоимости их доставки к месту размещения РАО и стоимости затаривания. В зависимости от класса и типа РАО, с учетом требований по безопасности, подбирается тип упаковки для их изоляции. У каждой упаковки свои характеристики по внешнему и внутреннему объему контейнера, а также средние параметры заполняемости контейнера. Прогнозируемые объемы образования отходов, их параметры, а также характеристики контейнеров позволяют рассчитать количество необходимых упаковок.

Затраты на закупку контейнеров для захоронения РАО ( $C_{\text{конт.}}$ ) рассчитываются исходя из объема РАО после переработки РАО по формуле:

$$C_{\text{конт.}} = \sum_{m=1}^M V_{\text{РАО}m}^{\text{п.}} / V_m \times P_m^{\text{конт.}}, \quad (3.23)$$

где  $V_{\text{РАО}m}^{\text{п.}}$  – объем РАО после переработки, размещаемых в контейнер типа  $m$ , согласно сценарию удаления РАО;

$V_m$  – полезный объем контейнера типа  $m$  (таблица 3.37);

$P_m^{\text{конт.}}$  – затраты на покупку одного контейнера типа  $m$  (могут быть использованы приведенные в таблице 3.37 справочные значения);

Средние затраты на затаривание (переупаковку) РАО в контейнер для захоронения составляют от 8 до 11 тыс. руб./м<sup>3</sup>.

Затраты на этапах 4 и 5 определяются исходя из брутто объема упаковки. Затраты на транспортировку (автомобильным или железнодорожным транспортом) определяются с учетом объема перевозки (количества рейсов) и расстояния между пунктами отправки и назначения. Расценки устанавливаются транспортной компанией, которую предполагается привлечь для перевозки, или внутренними расценками организации, выполняющей контракт (если имеются собственные мощности).

### *Оценка затрат на транспортировку РАО*

Анализ затрат на транспортировку РАО в РФ показал, что удельные стоимости значительно варьируются в зависимости от маршрута. При этом закономерности изменения удельной стоимости перевозки 1 куб. м РАО на 1 км от общего расстояния маршрута в РФ не выявлено. Затраты на транспортировку варьируются в диапазоне от 7 до 90 руб./куб. м на 1 км, для целей выполнения расчетов усреднено целесообразно принять расценку в диапазоне 20–30 руб./куб. м на 1 км. Таким образом, в среднем, для перевозки 1 куб. м РАО на расстояние в 600 км потребуется около 12–18 тыс. руб. [172].

Таблица 3.37 – Справочные значения характеристики контейнеров и стоимости контейнеров в ценах 2021 года, включая доставку к месту размещения РАО

Тип контейнера	Способ размещения РАО	РАО	Объем внутренних, м <sup>3</sup> [169]	Объем внешний, м <sup>3</sup> [169]	Масса нетто, т	Масса с РАО, т	Стоимость, тыс. руб./шт. (в ценах 2021 г.) без НДС [170]
НЗК*-150-1,5П	в бочках (зола от сжигания)	САО, НАО	0,8	3,74	4,3	7,3	125-150
		САО, НАО	1,5		4,3	7,3	
		САО, НАО	1,15		4,5	7,3	
		САО, НАО	1,15		4,3	5,5/6	
НЗК-Радон	навалом (графит)	САО	-	4,3	-	-	-
		НАО	1,9	3,65	4,0	6,5	150-160
КРАД**-1,36	в бочках, навалом (зола от сжигания, прессованные, смолы, кубовые остатки, шламы)	НАО	1,4	1,47	0,232	0,655	60-70
		КРАД-3,0	3	4,05	3,14	6,67	100-130
КМЗ***	в бочках, навалом (зола от сжигания в бочках, цементированные РАО: кубовые остатки, смолы, шламы; прессованные)	САО, НАО	3,1	3,74	1,2	10	180-250
		ОНРАО	0,7-1,2	0,7-1,2	-	-	1-1,6
Бочка 200 л.	навал	ОНРАО	0,2	0,22	0,014	-	1,4

Оценка стоимости транспортировки железнодорожным транспортом может быть выполнена с использованием онлайн сервиса Открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД») (рисунок 3.5). Отметим, что окончательный расчет стоимости перевозки зависит от параметров перевозки, таких как дата, использование дополнительных опций и т. д. Более того, онлайн сервис зачастую не имеет возможности выбрать в качестве точки доставки промышленную площадку организации и обладает целым рядом недостатков. Однако данная стоимость перевозки может использоваться при обосновании отнесения РАО к особым.

## ➔ Расчет стоимости и экологичности грузовых перевозок

**Расчет стоимости и экологичности грузовых перевозок**

Введите данные о маршруте перевозки и параметрах груза, чтобы рассчитать предварительную стоимость заказа.

По возникшим вопросам вы можете обратиться в службу поддержки:  
☎ 8 (800) 755-00-00

Связаться со мной

**Маршрут груза**

Откуда:

Куда:

[Маршрут на карте](#)

**Параметры груза**

**Наименование груза**

**Тип упаковки**

**Вес груза (кг)**

**Объем груза (м³)**

**Род вагонов**

**Тип собственности вагонов**

Рисунок 3.5 – Онлайн сервис ОАО «РЖД» [173]

### *Оценка затрат на временное хранение РАО*

Затраты на временное хранение РАО оцениваются с учетом тарифа (руб./куб.м.-год) организации, принимающей РАО на временное хранение. Необходимость временного хранения кондиционированных РАО перед передачей их на захоронение может быть обусловлена отсутствием свободных мощностей для размещения РАО соответствующего класса в ПЗРО. Расценка на временное хранение упакованных РАО может варьироваться от 1,2 до 3,6 тыс руб./куб м. в год (по внешнему объему упаковки) [174].

### *Оценка затрат на захоронение РАО*

Стоимость передачи на захоронение РАО определяется по формуле:

$$P_{з а х.} = \sum_{k=1}^6 V_k \times T_k, \quad (3.24)$$

где  $V_k$  – объем РАО  $k$ -го класса РАО, передаваемого на захоронение по внешнему объему упаковки (объем брутто);

$T_k$  – тариф на захоронение РАО для  $k$ -го класса РАО (таблица 3.38);

$k$  – номер класса РАО для захоронения,  $k= 1, 2 \dots 6$  в соответствии с [7].



Таблица 3.38 – Тарифы на захоронение РАО [175, 176, 177]

Класс РАО	Тариф на захоронение РАО в 2022 году (без НДС), тыс. руб./м <sup>3</sup>
Класс 1	1 569,2
Класс 2	729,6
Класс 3	168,1
Класс 4	55,2
Класс 5*	3,7 (для Федерального государственного унитарного предприятия «Горнохимический комбинат» (ФГУП «ГХК») 0,4 (Акционерное общество «Сибирский химический комбинат» (АО «СХК») 1,1 (Акционерное общество «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (АО «ГНЦ НИИАР»))
Класс 6	0,2
Примечание: *захоронение ЖРО в пункты глубинного захоронения ЖРО возможно рассматривать только для РАО, образующихся на предприятиях ФГУП «ГХК», АО «ГНЦ НИИАР», АО «СХК».	

*Оценка затрат на сооружение дополнительной инфраструктуры для переработки удаляемых РАО и ее последующий демонтаж*

Если на площадке отсутствуют необходимые инфраструктурные объекты для кондиционирования удаляемых РАО, то необходимо учитывать затраты на их сооружение. Средства на строительство и разборку временных зданий и сооружений рассчитываются на основании Методики определения затрат на строительство временных зданий и сооружений (Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 19.06.2020 г. 332/пр [178] – далее Методика 332/пр).

Согласно Методике 332/пр средства на строительство и разборку временных зданий и сооружений рассчитываются от суммы прямых расходов на строительные и монтажные работы с применением коэффициентов-нормативов. Например, для вывода из эксплуатации (ВЭ) научно-исследовательского объекта с радиоактивным загрязнением применяются следующие коэффициенты:

- 3.3% – пункт 7 «Предприятия химической промышленности» приложения 1 к Приказу 332/пр «Нормативы затрат на строительство титульных временных зданий и сооружений, используемые при определении сметной стоимости строительства объектов капитального строительства»;
- дополнительно 0.8% – пункт 25 Методики приказа 332/пр «... при капитальном ремонте, реконструкции объектов капитального строительства производственного и непроизводственного назначения» (коэффициент применяется при ВЭ объектов);

Затраты на сооружение крупных инфраструктурных объектов, для которых предполагается отдельный проект, например установки по переработке РАО или пункты временного размещения кондиционированных РАО, оцениваются отдельно, основываясь на Методике № 421/пр.

Описанные выше направления затрат как правило описываются в главах 1-8 Сводного сметного расчета, однако если при выполнении тех или иных работ привлекается соисполнитель, как например, при транспортировке или передаче на захоронение РАО, то затраты на оплату контрактов с ними включаются в Главу 9 «Прочие работы и затраты».

*Методика оценки косвенных затрат на обращение с удаляемыми РАО*

По итогам оценки прямых затрат необходимо приступить к расчету косвенных.

Доплаты при производстве строительного-монтажных работ в зимнее время рассчитываются на основании приказа Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25.05.2021 № 325/пр «Об утверждении Методики

определения дополнительных затрат при производстве работ в зимнее время» [179] (далее – Методика 325/пр). Для обобщенного аналитического расчета применяется формула:

$$IC_{зв} = TC \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3^*, \quad (3.25)$$

где  $IC_{зв}$  – доплаты при производстве строительно-монтажных работ в зимнее время;  
 $TC$  – сумма прямых затрат на монтажные и строительные работы (при удалении РАО);  
 $K_1$  – корректирующий коэффициент из приложения 4 Методики 325/пр для температурной зоны;

$K_2$  – удельный вес зимнего периода из пункта 6 Методики 325/пр;

$K_3$  – процент от суммы прямых затрат согласно выбранному объекту капитального строительства из приложения 1 Методики 325/пр.

Затраты на перевозку автомобильным транспортом работников строительно-монтажных организаций рассчитывается на основании проектной документации при использовании следующих параметров:

- 1) продолжительность выполнения работ (в месяцах) ( $T$ );
- 2) количество рабочих дней в месяц ( $t_m$ );
- 3) необходимое для перевозки рабочих количество арендуемых транспортных средств с учетом вместимости ( $N_{\text{транспорт}}$ );
- 4) количество часов в смену на аренду транспорта ( $t_{\text{аренды}}$ );
- 5) количество смен строительных рабочих в день ( $N_{\text{смен}}$ );
- 6) стоимость аренды транспортного средства в час без учета НДС (определяется на основе конъюнктурного анализа 3 коммерческих предложений - выбирается наименьшее) ( $Costs_{\text{аренды}}$ );
- 7) индексация полученной суммы в цены 2000 года согласно выпускаемым ежеквартально письмам Минстроя для прочих затрат ( $I$ );

Оценка затрат на перевозку рабочих к месту выполнения работ осуществляется на основе формулы:

$$IC_{пр} = T * t_m * N_{\text{транспорт}} * t_{\text{аренды}} * N_{\text{смен}} * Costs_{\text{аренды}} * I \quad (3.26)$$

Данные направления затрат включают в главу 9 сводного сметного расчета. Согласно Методике №421/пр другими затратами, включаемыми в данную главу, являются затраты:

- 1) на содержание действующих постоянных автомобильных дорог;
- 2) на проведение пуско-наладочных работ;
- 3) на перебазирование строительной техники;
- 4) на реализацию природоохранных мероприятий;
- 5) на научно-техническое сопровождение (вычисляется на основании проектной документации, производится конъюнктурный анализ коммерческих предложений 3 лабораторий, необходимо указывать характеристики объекта исследования (например, номер здания, причина исследования и т.п.);
- 6) на применение технологий информационного моделирования в период строительства (включает затраты на программное обеспечение согласно технико-коммерческим предложениям);
- 7) при дополнительных условиях контракта, банка, технико-коммерческих предложений (пункт 161 Методики №421/пр);
- 8) на проведение строительно-монтажных работ с применением вахтового метода (Приложение № 9 Методики №421/пр, пункт 2.3) и на проведение пусконаладочных работ.

Затраты на строительный контроль (технический надзор) оцениваются согласно Методике определения затрат на осуществление функций технического заказчика приказа

Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 02.06.2020г. № 297/пр [180]. Определяется количество технических заказчиков (с учетом имеющихся у организации-подрядчика) и затраты на их содержание, включая заработную плату, налоги, материальные и командировочные расходы. Данное направление затрат является альтернативой авторского надзора, то есть оценивается одно из двух направлений.

Подготовка эксплуатационных кадров рассчитывается при появлении новых видов работ на объекте. Оцениваются расходы на составление и проведение программ для обучения, заработную плату преподавателей программы, их проживание и транспортировку.

Оценка затрат на разработку проектной и рабочей документация для объектов использования атомной энергетики с применением Справочника базовых цен на проектные работы в строительстве «Объект атомной энергетики» (СБЦП 81-2001-06), утвержденный приказом Минрегиона РФ от 14.05.2012 № 198 [181], и Методическим указаниям по применению справочников базовых цен на проектные работы в строительстве, утвержденным приказом Минрегиона РФ от 29.12.2009 № 620 [182]. Затраты на экспертные работы по проектной документации рассчитываются согласно Постановлению Правительства РФ от 05.03.2007 г. №145 [183].

Расходы на изыскательские работы и обследование строительных конструкций рассчитываются организацией-подрядчиком в отдельной смете согласно отчету по изысканиям. Перевод в текущие цены производится с помощью индексов пересчета на изыскательские работы согласно письмам Минстроя. Авторский надзор рассчитывается согласно Методике №421/пр как 0.2% от суммы затрат, указанных в Главах 1-9 сводного сметного расчета.

Дополнительные надбавки, не учитываемые в главах, включают резерв на непредвиденные работы и затраты (варьируется от 3 до 10% в зависимости от этапа проекта на момент составления сметы) и средства на покрытие затрат по уплате налога на добавленную стоимость (для стоимости в текущих ценах - 20%).

На предпроектном этапе планирования работ по обращению с РАО в полной мере достоверно оценить размер косвенных затрат достаточно проблематично. Общая практика уже выполненных в этой части работ показывает, что как правило размер косвенных затрат в структуре работ достигает 40–45% от прямых затрат.

Также стоит обратить внимание, что ввиду высокой степени неточности в исходных данных для оценки затрат на удаление РАО на предпроектном этапе целесообразно проводить анализ неопределенности с применением моделирования методом Монте-Карло [133] (стохастических многовариантных расчетов).

*Результаты анализа затрат на реализованные проекты по удалению РАО и расценки на различные виды работ*

В качестве исходных данных для определения усредненных расценок на различные виды работ при удалении РАО использовались следующие источники данных:

- сметы фактически выполненных работ в рамках реализации мероприятий ФЦП ЯРБ-2 за период 2016–2020 гг., связанные с обращением с РАО;
- коммерческие предложения организаций, специализирующихся на работах по обращению с РАО;
- вспомогательные материалы организаций (формируются и уточняются ежегодно), используемые для оценки будущих обязательств по ВЭ ЯРОО и РЗТ согласно МСФО.

По результатам агрегации данных из различных источников в таблице 3.39 представлены диапазоны расценок для различных операций по обращению с РАО.

Таблица 3.39 – Средние расценки на операции по обращению с РАО, используемые при оценке затрат

Группа работ	Диапазон расценок, тыс. руб. в ценах 2021, без НДС
1. Извлечение РАО	на 1 куб. м. извлекаемых РАО
Извлечение РАО, размещенных в контейнерах, перепакровка в новые контейнеры	20-40
Извлечение упакованных РАО в контейнерах и подготовка к транспортированию	2-13
Извлечение ТРО из ПХРО	1-6
Откачка ЖРО	50-80
2. Контроль и другие измерения	на 1 куб. м. РАО
Взвешивание контейнеров с РАО	2-5
Дозиметрический контроль контейнеров	0,3-1
Спектрометрический контроль контейнеров	3-11
Измерение удельной активности и определение радионуклидного состава РАО	12-14
3. Сортировка РАО	на 1 куб. м РАО
Предварительная сортировка ТРО	0,8-1
Сортировка ТРО	5-6
Сортировка загрязненного грунта	2-5
Сортировка РАО с помощью системы сухой сепарации	13
4. Погрузочно-разгрузочные работы	на 1 контейнер
Погрузка упаковок ТРО на спец. транспорт	2-4
Разгрузка контейнеров	1-3,5
5. Переработка РАО	на 1 куб. м РАО
5.1. Металлические ТРО	
Абразивная дезактивация металлических ТРО	85
Жидкостная дезактивация металлических ТРО, Ванны травления металлических ТРО	45-90
Плавление	120-300
5.2. Переработка ЖРО	
Ионоселективная очистка ЖРО	130-170
Комплекс спецводоочистки ЖРО	20
Глубокое упаривание	35-70
Доупаривание	87-142
5.3. Переработка ТРО	
Прессование	75-80
Суперкомпактирование	50-60
Осушка ионообменных смол	333
Сжигание	180-260
Фрагментирование, измельчение	30-60
Цементирование	32-100
Гидросепарационная очистка грунта	160
6. Прочие работы с контейнерами	на 1 контейнер

Продолжение таблицы 3.40

Группа работ	Диапазон расценок, тыс. руб. в ценах 2021, без НДС
Дезактивация наружных поверхностей транспортных контейнеров	0,2-0,55
Маркировка и пломбирование контейнеров с ТРО	0,8-1
Изготовление металлических подкладок под контейнеры	3-5
Паспортизация контейнеров с кондиционированными РАО	15-30

Анализ приведенных в таблице 3.39 показывает достаточно высокий уровень вариации расценок среди работ, связанных с переработкой РАО на различных установках. Причинами такого разброса для различных организаций могут быть:

- различные методы ведения учета затрат на различные виды работ, сложности выделения расценки на конкретную работу из общего производственного цикла;
- различия в режимах работы установок (загрузка установок, время простоя);
- различия в технических характеристиках установок: требования к принимаемым на переработку РАО, эффективность переработки;
- региональные особенности, технологические особенности предприятия, специфическая логистика;
- различия в зарплатных платах сотрудников на предприятиях.

В таких условиях целесообразно проанализировать примеры полного цикла работ по обращению с РАО с момента извлечения/образования до передачи на захоронение.

Удельная стоимость обращения с ОНРАО и НАО (4 класс) в ценах 2021 года с учетом НДС составит около 150–450 тыс. руб. В структуре цены 56% составляют затраты на передачу РАО на захоронение НО РАО, 27% - затраты на закупку контейнеров и их транспортировку, 17% - переработка РАО и другие операции (рисунок 3.6).

Удельная стоимость обращения с НАО и САО (3 класс) в ценах 2021 года с учетом НДС составит около 500 -1200 тыс. руб. Структура затрат: 70% передача на захоронение РАО, 14% закупка контейнеров, 16% остальные операции. При этом производственно-технологическая цепочка обращения с РАО состоит из следующих операций:

1. Поставка на территорию заказчика контейнеров силами поставщика.
2. Извлечение упаковок РАО из ПХРО.
3. Контейнеризация извлеченных упаковок в контейнеры.
4. Погрузка упаковок с РАО на спецавтотранспорт.
5. Транспортировка упаковок РАО с территории заказчика в специализированную организацию.
6. Разгрузка упаковок с РАО на площадке специализированной организации.
7. Приведение упаковок РАО в соответствие критериям приемлемости. Например, для САО размещение первичных упаковок РАО (контейнеров А.2201.00.000) в контейнеры НЗК-150-1,5П с использованием цементной матрицы.
8. Паспортизация упаковок РАО.
9. Транспортировка упаковок РАО к ПЗРО.
10. Передача на захоронение РАО.

Кроме перечисленных выше затрат, при необходимости (в случае, если неравенство (3.17) не выполняется, либо проводится обоснование отнесения РАО к удаляемым РАО), в соответствии с [184] может быть проведена оценка затрат, связанных с ВЭ ПХРО. В данные затраты включаются затраты на разработку проектной и рабочей документации; на получение разрешительной документации; на выполнение непосредственно самих работ по ВЭ ПХРО.



### **3.11 Обоснование отнесения ПХРО к пункту размещения/консервации особых РАО или к пункту временного/долговременного хранения удаляемых РАО**

Согласно п. 59 НП-058-14, «пункт консервации особых РАО удовлетворяет требованиям безопасности в период после его консервации, если в течение определенного соответствующим проектом консервации срока:

*при нормальном (эволюционном) протекании естественных процессов на площадке размещения пункта консервации особых РАО (наиболее вероятных сценариях эволюции системы размещения особых РАО) его радиационное воздействие не приведет к превышению установленных пределов доз для работников (персонала) и населения;*

*при маловероятных (катастрофических) внешних воздействиях природного и техногенного характера на площадке размещения пункта консервации особых РАО (маловероятных сценариях распространения радионуклидов из системы консервации РАО) не будут превышены граничные значения обобщенного риска для критической группы населения, установленные нормами радиационной безопасности».*

Другими словами, если на момент составления обоснования отнесения РАО к особым РАО рассматриваемый ПХРО был законсервирован в соответствии с проектом, в котором установлен срок, в течение которого он будет удовлетворять указанным выше требованиям безопасности, он может быть отнесен к ПКОРАО.

Отметим, что значительная часть «исторических» ПХРО формально не удовлетворяет приведенному требованию ФНП, а именно в проекте консервации (при его наличии) отсутствует указанный срок.

При отнесении ПХРО к пункту размещения особых РАО необходимо принимать во внимание, что сразу после внесения изменений в распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 февраля 2018 г. № 238-р, эксплуатирующей организацией должны быть выполнены требования НП-103-17.

#### ***Пример раздела «Обоснование отнесения ПХРО к пункту размещения/консервации особых РАО» для ПХ ТРО АО «Магнит»:***

*ПХ ТРО в настоящее время эксплуатируется. В 2012 г. были проведены мероприятия по созданию первичного консервирующего покрытия (бетон и асфальт) общей толщиной 35 см. На \_\_\_\_ г. сформулированы основные концептуальные решения по безопасной эксплуатации ПХ ТРО, разработана программа перевода объекта в пункт консервации особых РАО.*

*Таким образом, ПХ ТРО должен быть отнесен к пункту размещения особых РАО.*

#### ***Пример раздела «Обоснование отнесения ПХРО к пункту временного/долговременного хранения удаляемых РАО» для ПХ ЖРО ФГУП «Ларс»:***

*С 2017 г. в ПХ ЖРО не размещаются дополнительные РАО. Как показал анализ выполненных в ходе исследовательских (опытных) работ по удалению РАО из объекта, возможно извлечение накопленных в ПХ ЖРО жидких РАО. После выполнения работ по удалению РАО будет выполнены работы по ВЭ ПХРО, порядок и меры по ВЭ объекта разработаны в организации [ссылка].*

*Таким образом, ПХ ЖРО должен быть отнесен к пункту временного хранения РАО.*

### 3.12 Заключение обоснования

Итоговые результаты сравнительной оценки альтернативных вариантов захоронения формируются в форме таблицы 3.40 с примечаниями.

Таблица 3.41 – Результаты сравнения

Сценарий \ Параметр	Население/ персонал	Удаление РАО	Сравнение	Захоронение РАО в месте их нахождения
Коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности РАО, чел.-Зв	население		> или <	
	персонал		> или <	
Риск потенциального облучения, год <sup>-1</sup>	внешние воздействия		> или <	
	технологические аварии		> или <	
Итого:				
Затраты, млрд руб.			> или <	Расходы на захоронение РАО в месте их нахождения
				Совокупный размер возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения
Итого:				

Кроме этого, рекомендуется дать заключение в текстовом виде.

В случае если доказано отнесение РАО к особым:

«Критерии отнесения РАО к особым РАО, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 г. № 1069 [7], выполнены:

- РАО, образовались в результате ...;
- коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности РАО и риск потенциального облучения, связанные с удалением РАО, **превышают** коллективную эффективную дозу облучения за весь период потенциальной опасности РАО и риск потенциального облучения, связанные с захоронением РАО в месте их нахождения;
- расходы, связанные с удалением РАО, **превышают** совокупный размер возможного вреда окружающей среде, в случае захоронения РАО в месте их нахождения, и расходы на захоронение РАО в месте их нахождения;
- 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.

Отнесение пункта хранения \_\_\_\_\_ к пункту консервации/размещения особых РАО позволяет сохранить приемлемый уровень безопасности, при переводе его в дальнейшем в



пункт захоронения РАО. Данное решение позволит сэкономить не менее \_\_ млрд. руб. бюджетных средств, снизить коллективную эффективную дозу облучения на \_\_ чел.-Зв при проведении процедур по захоронению РАО. Кроме этого, захоронение РАО в месте их нахождения позволит в \_\_ раз снизить риски потенциального облучения при обращении с РАО».

**Пример раздела «Заключение» для ПХ ТРО АО «Магнит»:**

Итоговые результаты выполненных оценок приведены в таблице 3.41. Анализ этих данных позволяет сделать вывод, что РАО, содержащиеся в рассматриваемом ПХ ТРО, в полной мере удовлетворяют критериям отнесения к особым РАО, установленным [7].

Таблица 3.42 – Результаты сравнения результатов выполненных оценок критериальных показателей

Сценарий / Параметр	Население/ персонал	Удаление РАО	Сравнение	Захоронение РАО в месте их нахождения	
Коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности РАО, чел.-Зв	население	0		0	
	персонал	более 15,8	>	менее 3,5	
Итого, чел.-Зв:		более 15,8	>	менее 3,5	
Риск потенциального облучения, год <sup>-1</sup>	внешние воздействия	1·10 <sup>-6</sup>		0,7·10 <sup>-6</sup>	
	технологические аварии	1,04·10 <sup>-3</sup>	>	7,22·10 <sup>-4</sup>	
Итого, год <sup>-1</sup> :		1,04·10 <sup>-3</sup>	>	7,22·10 <sup>-4</sup>	
Затраты, млрд руб.		более 39	>	Расходы на захоронение РАО в месте их нахождения	менее 5,6
				Совокупный размер возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения	менее 0,0004
Итого, млрд руб.:		более 39	>	Итого:	менее 5,6

Критерии отнесения РАО к особым РАО, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 г. №1069 [7], выполнены:

- РАО, образовались в результате государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа;
- коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности РАО и риск потенциального облучения, связанные с удалением РАО, превышают коллективную эффективную дозу облучения за весь период потенциальной опасности РАО и риск потенциального облучения, связанные с захоронением РАО в месте их нахождения;
- расходы, связанные с удалением РАО, превышают совокупный размер возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения и расходы на захоронение РАО в месте их нахождения;

- пункт хранения РАО и его СЗЗ размещены вне границ населенных пунктов, особо охраняемых природных территорий, прибрежных защитных полос и водоохраных зон водных объектов, других охранных и защитных зон, установленных в соответствии с законодательством РФ.

Отнесение пункта хранения ПХ ТРО к пункту размещения особых РАО позволяет сохранить приемлемый уровень безопасности, при переводе его в дальнейшем в ПЗРО. Данное решение позволит сэкономить не менее 33 млрд. руб. бюджетных средств, снизить коллективную эффективную дозу облучения на 12 чел.-Зв при проведении процедур по захоронению РАО. Кроме этого, захоронение РАО в месте их нахождения позволит в 1,4 раза снизить риски потенциального облучения при обращении с РАО.

**Пример раздела «Заключение» для ПХ ЖРО ФГУП «Ларс»:**

Итоговые результаты выполненных оценок приведены в таблице 3.42. Анализ этих данных позволяет сделать вывод, что РАО, содержащиеся в рассматриваемом ПХ ЖРО, не удовлетворяют критериям отнесения к особым РАО, установленным [7], а именно:

расходы, связанные с удалением РАО, не превышают расходы на захоронение РАО в месте их нахождения.

Таблица 3.43 – Результаты сравнения выполненных оценок критериальных показателей

Сценарий	Население/ персонал	Удале- ние РАО	Сравне- ние	Захоронение РАО в месте их нахождения	
<i>Параметр</i>					
Коллективная эффективная доза облучения за весь период потенциальной опасности РАО, чел.-Зв	население	-	-	-	
	персонал	<0.8	>	-	
Риск потенциального облучения, год <sup>-1</sup>	внешние воздействия	<10 <sup>-6</sup>	-	<10 <sup>-6</sup>	
	технологические аварии	<10 <sup>-6</sup>	-	<10 <sup>-6</sup>	
Итого, год <sup>-1</sup> :		<10 <sup>-6</sup>	-	<10 <sup>-6</sup>	
Затраты, млрд руб.		25	<	Расходы на захоронение РАО в месте их нахождения	43
				Совокупный размер возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения	-
Итого, млрд руб.:		25	<	Итого:	48

В 2022 году ФГУП «Ларс» был разработан проект выполнения опытных (исследовательских) работ по извлечению части накопленных РАО из ПХ ЖРО, полученные в ходе этих работ данные легли в основу настоящего обоснования.

Отнесение ПХ ЖРО к пункту временного хранения удаляемых РАО позволит выполнить работы по удалению накопленных РАО и выводу из эксплуатации объекта, позволив сэкономить почти 23 млрд руб.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Научно-техническое пособие по подготовке обосновывающих материалов для принятия решения об отнесении радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам. Версия 1.0. Абалкина И.Л., Барчуков В.Г., Бочкарев В.В., Ведерникова М.В., Дорогов В.И., Кочетков О.А., Крышев И.И., Линге И.И., Панченко С.В., Савкин М.Н., Уткин С.С., М.: 2014. – 150 с.
2. Научно-техническое пособие по подготовке обосновывающих материалов для принятия решения об отнесении радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам. Версия 2.0. Абалкина И.Л., Барчуков В.Г., Бочкарев В.В., Ведерникова М.В., Дорогов В.И., Кочетков О.А., Крышев И.И., Линге И.И., Панченко С.В., Савкин М.Н., Уткин С.С., М.: 2014. – 157 с.
3. Линге И. И., Савкин М. Н., Абалкина И.Л., Дорогов В.И., Уткин С.С., Ведерникова М. В., Курындина Л.А., Крышев И. И., Бочкарев В.В., Непейшиво М.А., Щадиллов 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 № ИВРАЕ-2013-06. М.: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2013, 38 с.
4. Савкин М.Н., М. В. Ведерникова и др. Развитие подходов к обоснованию отнесения РАО к особым РАО. Препринт ИБРАЭ РАН. №ИВРАЕ-2014-06. М.: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2014, 15 с.
5. Крышев И.И., Курындина Л.А., Линге И.И. Оценка ущерба окружающей среде при использовании атомной энергии // Атомная энергия. 2014. Т. 117. № 3. С. 159-163.
6. Линге И.И., Ведерникова М.В., Уткин С.С., Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Курындина Л.А., Мокров Ю.Г. Оценка ущерба от радиационного воздействия на окружающую среду в районе расположения водоёма Карачай // Вопросы радиационной безопасности. 2014. № 2 (74). С. 34-42.
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 ноября 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» (с изменениями и дополнениями от 4 февраля 2015 года).
8. Особые радиоактивные отходы. – Под общей редакцией И.И. Линге. М.: ООО «САМ полиграфист», - 2015 г. – 240 с.
9. НП-058-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения. (НП-058-14)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 5 августа 2014 г. № 347 (в редакции Приказов Ростехнадзора от 22.11.2018 № 582, от 18.05.2022 № 163).
10. Проблемы ядерного наследия и пути их решения / Под общ. ред. Е. В. Евстратова, А. М. Агапова, Н. П. Лаверова, Л. А. Большова, И. И. Линге. М. : Энергопром-аналитика, 2012. Т. 1. — 356 с.
11. Большов, Л.А. Практика и задачи научного обеспечения работ по ядерному наследию / Л.А. Большов, И.И. Линге, А.А. Саркисов, С.С. Уткин // Атомная энергия. - 2016. - Т. 120, № 4. - С. 201-207.
12. Ельфинова Т.Л., Черникова О.В., Потемкина Л.В., Супатаева О.А., Поляков Ю.Д., Линге И.И., Ковальчук В.Д., Стрижова С.В., Иорданов А.С. Комментарий к Федеральному закону "Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" (постатейный) (под общей редакцией Ельфиновой Т.Л. и Линге И.И.). - Специально для системы ГАРАНТ, 2012 г.

13. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. №190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (в ред. Федеральных законов от 02.07.2013 № 188-ФЗ, от 08.12.2020 № 429-ФЗ, от 21.12.2021 № 421-ФЗ).

14. Сводный информационно-аналитический материал «Итоги реализации федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016—2020 годы и на период до 2030 года» в 2016—2020 гг.». М.: Госкорпорация «Росатом». 2021. — 134 с.

15. Новые документы. Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов// Радиоактивные отходы. — 2018. — № 2 (3) — С. 114-120.

16. Бочаров К. Г., Михеев С. В., Ведерникова М. В. Перспективы работ по накопленным РАО в организациях Топливной компании АО «ТВЭЛ» // Радиоактивные отходы. — 2017. — № 1. — С. 85-92.

17. Самойлов А.А., Болдырев К.А., Мокров Ю.Г. Подходы к оптимизации консервации водоема-хранилища В-17// Вопросы радиационной безопасности. — 2019. — № 1 (93). С. 25- 35.

18. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 февраля 2016 г. № 238-р (с изменениями, внесенными распоряжениями Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 85-р, от 21 февраля 2019 г. № 255-р и от 6 марта 2020 г. №537-р).

19. Федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» (в ред. от 30.04.2021).

20. Линге И.И., Самойлов А.А. Возможности оптимизации нормативного регулирования единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами. Вопросы радиационной безопасности. 2016. № 4 (84). С. 12-20.

21. Дорофеев А. Н., Линге И. И., Самойлов А. А., Шарафутдинов Р. Б. К вопросу финансово-экономического обоснования повышения эффективности нормативной базы ЕГС РАО // Радиоактивные отходы. — 2017. — № 1. — С. 22—31.

22. Гражданский кодекс Российской Федерации от 30.11.1994 № 51-ФЗ (с изменениями).

23. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 июля 2012 г. № 767 «О проведении первичной регистрации радиоактивных отходов».

24. Приказ Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 24.01.2013 г. №1/41-П г. Москва «Об утверждении Порядка проведения первичной регистрации радиоактивных отходов и установления мест их размещения».

25. Приказ Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 28.02.2013 «О графике обследований пунктов хранения радиоактивных отходов, образовавшихся до 15.07.2011, для проведения первичной регистрации радиоактивных отходов».

26. НП-103-17. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Требования к обеспечению безопасности пунктов размещения особых радиоактивных отходов и пунктов консервации особых радиоактивных отходов (НП-103-17)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 октября 2017 г. № 418 (в редакции Приказа от 18.05.2022 № 163).

27. РБ-146-18. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии "Рекомендации по переводу пунктов размещения особых радиоактивных отходов в пункты консервации особых радиоактивных отходов и пункты захоронения радиоактивных отходов" (РБ-146-18), утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 августа 2018 г. № 342.

28. НП-019-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности (НП-019-15)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 июня 2015 г. № 242 (в ред.

Приказа Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13.09.2021 № 299.

29. НП-020-15. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности (НП-020-15)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 июня 2015 г. № 243.

30. НП-055-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности. (НП-055-14)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 22 августа 2014 г. № 379 (в ред. Приказов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 22.11.2018 № 582, от 18.05.2022 № 163).

31. НП-064-17. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии (НП-064-17)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30.11.2017 г. № 514;

32. НП-069-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов. Требования безопасности (НП-069-14)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 06 июня 2014 г. № 249 (в ред. Приказов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 22.11.2018 № 582, от 18.05.2022 № 163).

33. НП-093-14. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Критерии приемлемости радиоактивных отходов для захоронения (НП-093-14)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 декабря 2014 г. № 572 (в ред. Приказов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17.11.2017 №481, от 14.12.2021 № 428).

34. НП-097-16. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Требования к обеспечению безопасности при выводе из эксплуатации пунктов хранения радиоактивных отходов (НП-097-16)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 21 июля 2016 г.

35. НП-099-17. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Требования к составу и содержанию отчета по обоснованию безопасности пунктов хранения радиоактивных отходов (НП-099-17)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23 июня 2017 г. № 219.

36. НП-100-17. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. «Требования к составу и содержанию отчета по обоснованию безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов (НП-100-17)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23 июня 2017 г. № 218.

37. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН СП 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора России, 2009. – 100 с.

38. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010), СП 2.6.1.2612-10, Роспотребнадзор, 2010.

39. Иванов Е.А., Шаров Д.А., Курындин А.В. Актуальные проблемы классификации удаляемых твердых радиоактивных отходов, образующихся при использовании атомной энергии / Ядерная и радиационная безопасность. 2018. № 2 (88). С. 11-23.

40. Иванов Е.А., Шаров Д.А., Демьяненко М.В., Шарафутдинов Р.Б, Курьиндин А.В. О некоторых проблемах обращения с промышленными отходами, содержащими техногенные радионуклиды / Ядерная и радиационная безопасность. 2019. № 3 (93). С. 1-11.
41. Абрамов А. А., Большой Л.А., Гаврилов П.М. и др. Об идеях расширения системы обращения с РАО на промышленные отходы, содержащие в техногенные радионуклиды. Журнал Радиоактивные отходы 2019, №9, с. 6-13.
42. Горская О. И., Фетисова Ю. А. Создание пункта захоронения очень низкоактивных отходов на Ростовской АЭС/. Глобальная ядерная безопасность. 2022, № 2 (43), с.15-23.
43. Крюков О. В., Абрамов А. А. Ликвидация ядерного наследия как ключевой фактор обеспечения радиационной и экологической безопасности в Российской Федерации. По итогам реализации ФЦП ЯРБ-2 за 2016—2021 гг. // Радиоактивные отходы. 2022. №1 (18). С. 6-15.
44. Александрова Т. А., Иванов А. Ю., Линге Ин. И., Лунов Д. М., Савельева Е. А., Самойлов А. А., Уткин В. Б. Оценка объемов образования РАО от вывода из эксплуатации с использованием информационных моделей // Радиоактивные отходы. 2020. № 3 (12). С. 19—31.
45. Лужецкий А. В., Невров Ю. В., Ведерникова М. В., Иванов А. Ю., Линге Ин. И., Неуважаев Г. Д., Савельева Е. А., Шпиньков В. И., Понизов А. В. О создании интегральной информационной модели для определения стратегии развития промышленного комплекса по обращению с радиоактивными отходами ФГУП «РАДОН» // Радиоактивные отходы. 2020. № 1 (10). С. 101—112.
46. Постановление Правительства РФ от 27 мая 2017 г. N 643 "Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета юридическим лицам на возмещение затрат на обращение с радиоактивными отходами и о признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации".
47. Постановление Правительства РФ от 19 февраля 2020 г. № 182 “О внесении изменений в Правила предоставления субсидий из федерального бюджета юридическим лицам на возмещение затрат на обращение с радиоактивными отходами”.
48. IAEA 2014. Safety Standards for protecting people and the environment. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements. Part 3. No. GSR Part 3. – Vienna, 2014. – 471 p.
49. Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities: Results of a coordinated research project. – Vienna, Austria: IAEA, 2004.
50. Methods for Safety Assessment of Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste: Outcomes of the NEA MeSA Initiative: Radioactive Waste Management; NEA No. 6923. Paris, France, OECD Nuclear Energy Agency, 2012.
51. Савельева Е. А., Свительман В. С. Обращение с неопределенностями в задачах расчетного обоснования долговременной безопасности // Радиоактивные отходы. 2022. № 3 (20). С. 61—71. DOI: 10.25283/2587-9707-2022-3-61-71.
52. Федеральный Закон Российской Федерации от 9 января 1996 года № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения».
53. Романович И. К. и др. Комментарии к Нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009). – 2012.
54. РБ-003-21. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Оценка долговременной безопасности пунктов глубинного захоронения радиоактивных отходов» (утверждено приказом Ростехнадзора от 19.03.2021 № 101.
55. РБ-117-16. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии. «Оценка долговременной безопасности пунктов приповерхностного захоронения радиоактивных отходов. (РБ-117-16)», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 28 декабря 2017 г. № 589.

56. EPA 402-R-18-001 External exposure to radionuclides in air, water, and soil. Federal guidance report № 15. – Washington DC, 2018, 343 p.
57. IAEA - International Atomic Energy Agency. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. Technical Reports Series No.472, Vienna, 2010.
58. Методика разработки нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты для водопользователей. Утверждена приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 22 декабря 2016 г. N 5512016.
59. МР 2.6.1.0088-14. 2.6.1. Гигиена. Радиационная гигиена. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Форма федерального статистического наблюдения № 4-ДЮЗ. Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона. Методические рекомендации.
60. Chapman N. A. et al. Systems analysis, scenario construction and consequence analysis definition for SITE-94: SKI-R-95-26. – Stockholm, Sweden: SKO, 1995.
61. Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste: An International Database. Paris, France: OECD NEA, 2000.
62. Contents and Sample Arguments of a Safety Case for Near Surface Disposal of Radioactive Waste: IAEA-TECDOC-1814. – Vienna, Austria: IAEA, 2004.
63. International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste. Version 3: NEA/RWM/R(2019)1. Paris, France: OECD Nuclear Energy Agency, 2019.
64. Hunter R. L., Mann C. J. Techniques for determining probabilities of events and processes affecting the performance of geologic repositories: Literature review: NUREG/CR-3964, SAND86-0196. – USA, Albuquerque, 1989.
65. Cranwell, R.M. et al. Risk Methodology for Geologic Disposal of Radioactive Waste: Scenario Selection Procedure: NUREG/CR-1667. – Washington DC: NRC, 1987.
66. Острейковский В., Швыряев Ю. Безопасность атомных станций: Вероятностный анализ. – Москва: Физматлит, 2008.
67. Development of a Reference Biospheres Methodology for Radioactive Waste Disposal: Final Report of the Reference Biospheres Working Group: BIOMOV5 II TR 6. – BIOMOV5 II Steering Committee, 1996.
68. Pinedo P., Simón I., Aguero A. Application of the biosphere assessment methodology to the ENRESA, 1997 performance and safety assessment: CIEMAT-863. – Spain, Madrid: Centro de Investigaciones Energeticas, 1998.
69. Smith G. M., Kessler J. Biosphere modeling and dose assessment for Yucca Mountain: TR107190. – USA, Palo Alto: EPRI, 1996.
70. Водоём-9 – хранилище жидких радиоактивных отходов и воздействие его на геологическую среду. – Под ред. Дрожко Е.Г., Самсонова Б.Г. – М., 2007, 250 с.
71. Рыбальченко А. И., Пименов М.К., Костин П.П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов //М.: ИздАТ. – 1994. – 256 с.
72. Румынин В. Г. Геомиграционные модели в гидрогеологии. СПб: Наука, 2011. 1158 с.
73. Saveleva E. et al. Sensitivity analysis and model calibration as a part of the model development process in radioactive waste disposal safety assessment //Reliability Engineering & System Safety. – 2021. – Vol. 210. – P. 107521.
74. Капырин И.В. Расчетные коды для гидрогеологического моделирования в задачах оценки безопасности ОИАЭ. // Радиоактивные отходы, 2022, №2 (19), с.105-115.
75. Parkhurst D. L., Wissmeier L. PhreeqcRM: A reaction module for transport simulators based on the geochemical model PHREEQC //Advances in Water Resources. – 2015. – Vol. 83. – Pp. 176-189.

76. Капырин И.В. Состояние и перспективы развития методов геомиграционно-го моделирования для анализа вопросов долгосрочного обеспечения радиационной безопасности». ВРБ (в печати – на стадии подписи). 2022.
77. Safonov A. V. et al. Biogenic factors of radionuclide immobilization on sandy rocks of upper aquifers //Radiochemistry. – 2019. – Т. 61. – №. 1. – С. 99-108.
78. Hodkin, David J., et al. "Coprecipitation of 14C and Sr with carbonate precipitates: the importance of reaction kinetics and recrystallization pathways." *Science of the Total Environment* 562 (2016): 335-343.
79. Сафонов А. В. и др. Кинетика разложения нитратов и роста микроорганизмов в водных средах, имитирующих состав ЖРО в подземных хранилищах //Вопросы радиационной безопасности. – 2013. – №. 3. – С. 25-30.
80. Болдырев К. А., Савельева Е. А., Капырин, И. В., Расторгуев А. В. Расчёт параметров сорбции металлов на примере стронция при высоких концентрациях нитрата натрия // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – № 5. – С. 8–12.
81. Болдырев К.А., Капырин И.В., Константинова Л.И., Захарова Е.В. О моделировании сорбции стронция на породах в условиях высокой засоленности раствора нитрата натрия // Радиохимия. – 2016. – Т. 58. – № 3. – С. 211–217.
82. Greenfield B., Spindler M., Woodwark D. (1992): Summary of the effects of organic degradation products on near-field radionuclide chemistry. - UK Nirex Ltd Report NSS/R298, Harwell, UK (Contractor approved 1992, Commercial in Confidence).
83. Отчет о научно-исследовательской работе по государственному контракту от 27.04.2016 № Н.4д.21.2.2.16.1065 «Создание практической методологии комплексного обоснования безопасности объектов наследия, пунктов захоронения радиоактивных отходов, включая разработку и внедрение системы кодов и расчетно-прогностических комплексов. Этап 2016 г.», Этап 1 (промежуточный), Часть 3. Москва, 2016.
84. Safonov A. V. et al. The Role of Phytoplankton in Self-Purification of Water Bodies with Radionuclide Pollutants //Radiochemistry. – 2022. – Т. 64. – №. 2. – С. 120-132.
85. Болдырев К. А., Кузьмин В. В., Куранов Н. П. Методика расчета выхода тяжелых металлов из слоя донных отложений водоемов //Водоснабжение и санитарная техника. – 2016. – №. 6. – С. 43.
86. Болдырев К. А. и др. Возможности геохимического моделирования значений коэффициентов распределения  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  для Теченского каскада водоёмов ФГУП "ПО" Маяк" //Вопросы радиационной безопасности. – 2016. – №. 1. – С. 5-19.
87. Болдырев К. А. и др. Разработка расчетных методов оценки миграции радионуклидов за пределы ИББ с учетом их эволюции. – 2017.
88. Крючков Д. В., Болдырев К. А. Принципы комплексного учета процессов эволюции инженерных барьеров безопасности при оценке распространения радионуклидов за пределы объекта // Радиоактивные отходы 2019 № 4 (9) С 106—115.
89. Ochs M., Mallants D., Wang L. Radionuclide and metal sorption on cement and concrete. – Springer, 2016.
90. Jacques D., Wang L., Martens E., Mallants D. Time dependence of the geochemical boundary conditions for the cementitious engineered barriers of the Belgian surface disposal facility. Project near surface disposal of category A waste at Dessel. - ONDRAF/NIRAS, 2009.
91. Отчет о научно-исследовательской работе по государственному контракту от 05.02.2020 № Н.4д.241.20.20.1010 «Создание практической методологии комплексного обоснования безопасности объектов наследия, пунктов захоронения радиоактивных отходов, включая разработку и внедрение системы кодов и расчетно-прогностических комплексов. Этап 2020–2021 гг.», (заключительный, этап 4), Книга 1, Москва, 2021.
92. Соболев Д.А., Болдырев К.А. Расчёт значений предельной растворимости твёрдых минеральных фаз ряда радионуклидов для прогноза выхода радионуклидов из матриц разного состава //XXI научная школа молодых ученых ИБРАЭ РАН. – 2022. – С. 88-91.



93. Morozov I. et al. Bentonite–Concrete Interactions in Engineered Barrier Systems during the Isolation of Radioactive Waste Based on the Results of Short-Term Laboratory Experiments // *Applied Sciences*. – 2022. – Т. 12. – №. 6. – С. 3074.

94. Самойлов А. А. Системная оптимизация и обоснование решений по безопасной эксплуатации установок по обращению с РАО на объектах ядерного топливного цикла: дис. – Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2020.

95. Болдырев К. А., Сафонов А. В., Абрамова Е. С., Гладких Н. А., Крючков Д. В. Исследование коррозии углеродистой стали Ст3 в присутствии микроорганизмов, выделенных из подземных вод на участке «Енисейский» // *Радиоактивные отходы*. 2021. № 3 (16). С. 103—113. DOI: 10.25283/2587-9707-2021-3-103-113

96. Li D., Kaplan D. I. Sorption coefficients and molecular mechanisms of Pu, U, Np, Am and Tc to Fe (hydr) oxides: A review // *Journal of hazardous materials*. – 2012. – Т. 243. – С. 1-18.

97. Jo Y. et al. Formation of Mg/Ca-UO<sub>2</sub>-CO<sub>3</sub> complexes at variable temperatures (10–70° C) // *17th International Conference on the Chemistry and Migration Behavior of Actinides and Fission Products in the Geosphere. – Migration, 2019.*

98. Единый отраслевой порядок перевода пунктов размещения особых радиоактивных отходов в пункты консервации особых радиоактивных отходов или пункты захоронения радиоактивных отходов и переводов пунктов консервации особых радиоактивных отходов в пункты захоронения радиоактивных отходов, утв. приказом Госкорпорации «Росатом» от 26.04.2022 № 1/507-П.

99. Захоронение радиоактивных отходов. Конкретные требования безопасности, SSR-5. Международное агентство по атомной энергии, Вена, 2011

100. Обращение с радиоактивными отходами перед захоронением. Общие № GSR-5 требования безопасности. МАГАТЭ, Вена, 2010.

101. Обоснование и оценка безопасности захоронения радиоактивных отходов. Специальное руководство по безопасности. МАГАТЭ. SSG-23. Вена, 2012

102. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2012 г. № 1494 «Об утверждении Положения об отнесении объектов использования атомной энергии к отдельным категориям и определении состава и границ таких объектов».

103. Приказ Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом" от 09.12.2021 №1/1628-П "Об утверждении Единых отраслевых методических указаний по заполнению форм отчетов в области государственного учета и контроля радиоактивных веществ, радиоактивных отходов и ядерных материалов, активность которых больше или равна минимально значимой активности и удельная активность которых больше или равна минимально значимой удельной активности, установленной федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии".

104. Приказ Государственной корпорации по атомной энергии "Росатом" от 07.12.2020 № 1/13-НПА "Об утверждении форм отчетов организаций в области государственного учета и контроля радиоактивных веществ, радиоактивных отходов и ядерных материалов, не подлежащих учету в системе государственного учета и контроля ядерных материалов, активность которых больше или равна минимально значимой активности и удельная активность которых больше или равна минимально значимой удельной активности, установленной федеральными нормами и правилами в области использования атомной энергии, порядка и сроков их представления" (Зарегистрирован 14.05.2021 № 63429).

105. СП 2.6.1.2216-07 "Санитарно-защитные зоны и зоны наблюдения радиационных объектов. Условия эксплуатации и обоснование границ" (Зарегистрировано в Минюсте России 27.06.2007 N 9727).

106. Власов Д. Н., Замаскин Д. Н., Каминский О. О., Каморный А. В., Лукин А. В., Соболев А. И. Вывод из эксплуатации хранилищ РАО Мурманского отделения филиала «Северо-западный территориальный округ» ФГУП «РосРАО» // *Радиоактивные отходы*. – № 2 (11). – 2020. – сс. 17-24.

107. Лужецкий А.В., Невров Ю.В., Ведерникова М.В. и др. О создании интегральной информационной модели для определения стратегии развития промышленного комплекса по обращению с радиоактивными отходами ФГУП «РАДОН» // Радиоактивные отходы. – № 1 (10). – 2020. – сс. 101-112.

108. Диордий М.Н., Чабанюк А.И. Практический опыт ФГУП «РАДОН» по выводу из эксплуатации ЯРОО и реабилитации территории // Радиоактивные отходы. – № 2 (11). – 2020. – сс. 25-35.

109. Ильина О.А., Лундин Д.С., Проскурин Д.В. и др. Материалы и технологии для радикального улучшения гидроизолирующих характеристик хранилищ РАО // Радиоактивные отходы. – № 1 (14). – 2021. – сс. 51-62.

110. Бочаров К.Г., Михеев С.В., Ведерникова М.В. Перспективы работ по накопленным РАО в организациях Топливной компании АО «ТВЭЛ» // Радиоактивные отходы. – № 1. – 2017. – сс. 85-92.

111. Барковский А.Н. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2018 г. Инф. Сборник. СПб., 2019. – 72 с.

112. Линге И. И. Обеспечение радиационной безопасности при обращении с РАО: дозы облучения и перспективы развития регулирующих основ // Радиоактивные отходы. – № 2 (11). – 2020. – сс. 6-16.

113. Метеорология и атомная энергия. – Гидрометеиздат. – Ленинград, 1971. – 596 с. – сокращенный перевод Meteorology and Atomic Energy. Editor David H. Slade US, Atomic Energy Commission, July 1968.

114. Отчет ЗАО «РОССИЙСКАЯ ОЦЕНКА» по договору №1/17886-Д от 03.10.2019 г. Анализ динамики изменения фактических удельных стоимостей работ по переработке (кондиционированию) РАО, заложенных в модели оценки обязательств в области ЗСЖЦ за 2019 - 2020 гг.

115. Приказ МЧС РФ № 243, Минэнерго РФ № 150, МПР РФ № 270, Минтранс РФ № 68, Госгортехнадзора РФ № 89 от 18.05.2002 «Об утверждении Порядка определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 03.06.2002 № 3493).

116. РБ-022-01. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по оценке характеристик смерча для объектов использования атомной энергии», утв. постановлением Госатомнадзора России от 28.12.2001 г. № 17.

117. Электронный ресурс. URL: [http://seismos-u.ifz.ru/documents/zapiska\\_OCP\\_2016.pdf](http://seismos-u.ifz.ru/documents/zapiska_OCP_2016.pdf).

118. IAEA-TECDOC-1162/R «Общие инструкции оценки и реагирования на радиологические аварийные ситуации». – Vienna, Austria. IAEA, 2004. – 206 p.

119. Методическое пособие по расчёту выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов, утверждённых Минстройматериалов. – СССР, 16.05.85.

120. Radioactive Waste Management. An IAEA Source Book. IAEA. – Vienna, 1992.

121. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 4 августа 2020 г. N 421/пр "Об утверждении Методики определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации" // Гарант [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [М., 2020].

122. Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 года №87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» // Гарант [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [М., 2022].

123. Рыбальченко И. Л. Обращение с отходами очень низкого уровня активности. Шведский опыт. — СПб., 2009. — 36 с., ил.

124. Электронный ресурс. URL: <http://radon.ru>
125. Ильина О. А., Крупская В. В., Винокуров С. Е., Калмыков С. Н. Современное состояние в разработках и использовании глинистых материалов в качестве инженерных барьеров безопасности на объектах консервации и захоронения РАО в России // Радиоактивные отходы. 2019. №4(9). С. 71-84.
126. ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» Материалы обоснования лицензии на размещение и сооружение приповерхностного пункта захоронения твердых радиоактивных отходов 3 и 4 классов, Томская область, городской округ ЗАТО Северск (включая материалы оценки воздействия на окружающую среду) ТОМ 1. Москва. 2018 г. С. 293  
([https://www.norao.ru/upload/%D0%9C%D0%9E%D0%9B%20%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BA\\_%D1%82%D0%BE%D0%BC%20\(2\).pdf](https://www.norao.ru/upload/%D0%9C%D0%9E%D0%9B%20%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BA_%D1%82%D0%BE%D0%BC%20(2).pdf)).
127. ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» Предварительные материалы оценки воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности по размещению и сооружению пункта захоронения радиоактивных отходов 3 и 4 классов в районе расположения АО «СХК» (Томская область, ЗАТО Северск). Москва. 2015 г. С. 239. ([https://www.norao.ru/upload/pm\\_ovos\\_seversk.pdf](https://www.norao.ru/upload/pm_ovos_seversk.pdf)).
128. ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» Материалы обоснования лицензии на эксплуатацию первой очереди стационарного объекта, предназначенного для захоронения радиоактивных отходов – приповерхностного пункта захоронения твердых радиоактивных отходов, отделения «Новоуральское» филиала «Северский» ФГУП «НО РАО» (включая материалы оценки воздействия на окружающую среду) ТОМ 1. Москва. 2017 г. С. 170.  
([https://www.norao.ru/upload/%D0%9C%D0%9E%D0%9B%20%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA\\_%D0%AD%00%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F\\_%D1%82%D0%BE%D0%BC%201.pdf](https://www.norao.ru/upload/%D0%9C%D0%9E%D0%9B%20%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BA_%D0%AD%00%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D1%82%D0%BE%D0%BC%201.pdf)).
129. Решение для экологии — BentIzol. URL: [https://bentizol.ru/uploads/pdf/BentIzol\\_data\\_sheet.pdf](https://bentizol.ru/uploads/pdf/BentIzol_data_sheet.pdf) (дата обращения: 10.10.2019).
130. Бентонитовые маты для гидроизоляции. URL: [https://bentonit.ru/products/stroitelstvo/bentonitovyie\\_maty\\_i\\_dlya\\_gidroizolyaczii.html](https://bentonit.ru/products/stroitelstvo/bentonitovyie_maty_i_dlya_gidroizolyaczii.html) (дата обращения: 10.10.2019)
131. Павлов Д. И., Ильина О. А. О системном подходе к выбору барьеров безопасности для захоронения РАО классов 3 и 4 // Радиоактивные отходы. 2020. №3(12). С. 54-65.
132. 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.
133. Ильясов Д.Ф. Методы оценки стоимости обращения с радиоактивными отходами в условиях неопределенности исходных данных // Радиоактивные отходы – 2022. – №1(18). – С.16-27.
134. Рекомендации Росгидромета Р 52.18.852-2016. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в морских водах. Утверждены Росгидрометом Минприроды России 17.08.2016 г. В сборнике: Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в объектах природной среды. – Обнинск, 2016. – сс. 3-28.
135. Рекомендации Росгидромета Р 52.18.853-2016. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в пресной воде и почве. Утверждены Росгидрометом Минприроды России 17.08.2016 г. В сборнике: Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в объектах природной среды. – Обнинск, 2016. – сс. 29-55.
136. Рекомендации Росгидромета Р 52.18.873-2018. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в донных отложениях морских водных объектов. Утверждены Руководителем Росгидромета 01.10.2018. Введены в действие приказом Росгидромета от 31.10.2018 № 456. – Обнинск, 2019. – 29 с.

137. Рекомендации Росгидромета Р 52.18.876-2019. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в донных отложениях пресноводных водных объектов. Утверждены Руководителем Росгидромета 29.03.2019. – Обнинск, 2020. – 33 с.

138. Рекомендации Росгидромета Р 52.18.913-2021. Порядок расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в атмосферном воздухе. Утверждены приказом Росгидромета от 23.08.2021 № 273. – Обнинск, 2021. – 58 с.

139. Рекомендации Росгидромета Р 52.18.820-2015. Оценка радиационно-экологического воздействия на объекты природной среды по данным мониторинга радиационной обстановки (Утверждены Росгидрометом Минприроды России 17.04.2015 г.). – 64 с.

140. ICRP Publication 91. A framework for assessing the impact of ionizing radiation on non-human species. Ann. – ICRP, 2003. – 79 p.

141. ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. Ann. ICRP 38(4-6). – 2009. – 251 p.

142. UN, 2011. 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.

143. Крышев И.И., Павлова Н.Н., Сазыкина Т.Г., Крышев А.И., Косых И.В., Бурякова А.А., Газиев И.Я. Оценка радиационной безопасности окружающей среды в зоне наблюдения объектов использования атомной энергии//Атомная энергия. 2021. Т. 130, № 2. с. 111-116.

144. ICRP Publication 136. Dose coefficients for non-human biota environmentally exposed to radiation. Ann. ICRP 46(2). – 2017. – 92 p.

145. ERICA Assessment Tool version 2.0 (November 2021). Электронный ресурс. URL: <https://erica-tool.com>.

146. Крышев И.И., Бурякова А.А., Сазыкина Т.Г. Оценка эколого-экономического ущерба от радиоактивного загрязнения окружающей среды. Радиационная биология. Радиоэкология. 2021, том 61, № 1, с. 105–112.

147. Бурякова А.А., Крышев И.И., Сазыкина Т.Г., Павлова Н.Н. Методология оценки экологического ущерба от радиоактивного загрязнения окружающей среды: опыт апробации для объектов использования атомной энергии. – Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях: Сб. материалов XI Российской научной конференции, 26–29 октября 2021 г., Москва / Под общ. ред. Л. А. Большова. Том 2. Материалы секции № 1 «Радиационная безопасность». М.: ИБРАЭ РАН, 2022. С. 274–28.

148. Приказ Минприроды России от 28.04.2008 г. № 107 «Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного объектам животного мира, занесенным в Красную книгу Российской Федерации, а также иным объектам животного мира, не относящимся к объектам охоты и рыболовства и среде их обитания» (с изменениями на 12 декабря 2012 года, внесенными приказом № 429).

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

150. Приказ Минприроды России от 8.12.2011 г. № 948 «Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного охотничьим ресурсам» (с изменениями на 17 ноября 2017 года, внесенными приказом № 612).

151. Приказ, 2018. Приказ Минприроды России от 08.07.2010 г. № 238 «Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (с изменениями на 11.07.2018 г., внесенными приказом № 316).

152. Постановление, 2020. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2018 № 1730 «Об утверждении особенностей возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства» (ред. № 2164 от 18.12.2020).

153. Федеральный закон № 166-ФЗ от 20.12.2004 г. «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов».
154. Приказ, 2015. Приказ Минприроды России от 13.04.2009 г. № 87 «Об утверждении методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» (с изменениями на 31 января 2014 года, 26 августа 2015 года, внесенными приказами № 47, № 365).
155. Приказ Минсельхоза, 2020. Приказ Минсельхоза РФ от 31.03.2020 г. № 167 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам».
156. Постановление, 2018. Постановление Правительства Российской Федерации от 26.09.2000 года № 724 «Об изменении такс для исчисления размера взыскания за ущерб, причиненный водным биологическим ресурсам» (с изменениями на 3 ноября 2018 года, внесенными постановлением № 1321).
157. Приказ Рослесхоза, 2011. Приказ Рослесхоза Российской Федерации от 05.12.2011 г. № 513 «Об утверждении Перечня видов (пород) деревьев и кустарников, заготовка древесины которых не допускается».
158. Лесной кодекс Российской Федерации от 04 декабря 2006 года № 200-ФЗ.
159. Закон Российской Федерации от 15 мая 1991 года № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».
160. Постановление Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2004 года № 112 «Об использовании земель, подвергшихся радиоактивному и химическому загрязнению, проведении на них мелиоративных и культуртехнических работ, установлении охранных зон и сохранении находящихся на этих землях объектов».
161. Постановление Правительства Российской Федерации от 25 декабря 1992 года № 1008 «О режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС».
162. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 июня 2007 г. № 417 «Об утверждении правил пожарной безопасности в лесах».
163. Постановление Правительства Российской Федерации от 29 июня 2007 г. № 414 «Об утверждении правил санитарной безопасности в лесах».
164. Постановление Правительства Российской Федерации от 22 мая 2007 года № 310 «О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставок платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности».
165. Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 16 июля 2007 г. № 185 «Об утверждении правил ухода за лесом».
166. Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 16 июля 2007 г. № 184 «Об утверждении правил заготовки древесины».
167. Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 9 июля 2007 г. № 174 «Об утверждении порядка организации и осуществления лесопатологического мониторинга».
168. Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 8 июня 2007 г. № 148 «Об утверждении порядка исчисления расчётной лесосеки».
169. 179Сорокин В.Т., Демин А.В., Кашеев В.В. и др. Контейнеры для радиоактивных отходов низкого и среднего уровня активности. «Ядерная и радиационная безопасность», № 2 (68). – 2013. – сс. 1-8
170. Официальный сайт Единого портала государственных закупок. Режим доступа: <https://zakupki.gov.ru/epz/main/public/home.html>.
171. Электронный ресурс. URL: [https://tarra.ru/specializirovannye\\_konteynery](https://tarra.ru/specializirovannye_konteynery).
172. Сравнительный анализ стоимости операций по обращению с ПАО на российском и международном рынках / Ильясов Д. Ф., Иванов А. Ю., Кузнецова Е. О., Будунова А. С., Степанян П. О., Михайленко А. А. // Радиоактивные отходы. - 2020. - № 4 (13). - С. 14-21.

173. Калькулятор расчета стоимости и экологичности грузовых перевозок. Официальный сайт ОАО «РЖД». Режим доступа: <https://cargolk.rzd.ru/services/calculator>

174. Ильясов Д.Ф., Иванов А.Ю., Кузнецова Е.О. и др. Сравнительный анализ стоимости операций по обращению с РАО на российском и международном рынках // Радиоактивные отходы. 2020. № 4 (13). – сс. 14-21.

175. Об установлении тарифов на захоронение радиоактивных отходов классов 1, 2, 3, 4, 6 на период с 2018 по 2022 годы и тарифов на захоронение радиоактивных отходов класса 5 на 2018 год [Текст]: Приказ Федеральной антимонопольной службы от 28 декабря 2017 года № 1812/17 (с изменениями на 15 ноября 2018 года) // Официальный интернет-портал правовой информации [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru), N 0001201803060041 [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [М., 2018].

176. Приказ Федеральной антимонопольной службы от 15.11.2018 № 1560/18 «О внесении изменений в приложение к приказу ФАС России от 28.12.2017 № 1812/17 «Об установлении тарифов на захоронение радиоактивных отходов классов 1, 2, 3, 4, 6 на период с 2018 по 2022 годы и тарифов на захоронение радиоактивных отходов класса 5 на 2018 год» (Зарегистрирован 11.01.2019 № 53313).

177. Приказ Федеральной антимонопольной службы от 06.09.2021 № 942/21 «Об установлении тарифов на захоронение радиоактивных отходов класса 5 на 2022 год».

178. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 19.06.2020 г. 332/пр «Об утверждении Методики определения затрат на строительство временных зданий и сооружений, включаемых в сводный сметный расчет стоимости строительства объектов капитального строительства» // Гарант [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [М., 2022].

179. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25.05.2021 № 325/пр «Об утверждении Методики определения дополнительных затрат при производстве работ в зимнее время» // Гарант [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [М., 2022].

180. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 02.06.2020г. № 297/пр «Об утверждении методики определения затрат на осуществление функций технического заказчика» // Гарант [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [М., 2022].

181. Приказ Минрегиона РФ от 17.05.2012 № 198 «Справочник базовых цен на проектные работы в строительстве "Объект атомной энергетики"» (СБЦП 81-2001-06) // Гарант [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [М., 2022].

182. Приказ Минрегиона РФ от 29.12.2009 № 620 «Об утверждении Методических указаний по применению справочников базовых цен на проектные работы в строительстве» // Гарант [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [М., 2022].

183. Постановление Правительства РФ от 05.03.2007 г. №145 «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий» // КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – [М., 2022].

184. 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.

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

186. МУ 2.6.1.2398-08 Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности. Методические указания. Роспотребнадзор. 2008.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Подготовительный этап

Реализация мероприятий по подготовке исходных данных и обоснованию выбора варианта перевода ПРОРАО в новый статус

Мероприятия, представленные в приложении 1 для реализации на подготовительном этапе, выполняются ЭО в случае необходимости при отсутствии представленных материалов и данных в организации.

№ п.п.	Мероприятие	Рекомендованный срок исполнения	Исполнитель	Отчётные материалы	Основание
1	2	3	4	5	6
1	Принятие решения об иницировании процесса перевода ПРОРАО в новый статус.		Организация	Решение	п. 4.2. ЕОП <sup>6</sup>
2	Выпуск распорядительного документа об иницировании перевода объекта в новый статус.	10 дней	Организация	Распоряжение	п. 4.3. ЕОП
3	Сбор и анализ архивных данных о характеристиках РАО (морфологический состав, радионуклидный состав, удельная активность) в пунктах размещения особых РАО.	2 мес	Организация	Отчёт о характеристиках РАО в пунктах размещения.	п. 4.8.2. ЕОП НП-103-17
4	Обследование и восстановление наблюдательных скважин в районе ПРОРАО (при необходимости)	6-7 мес	Организация с привлечением подрядчика		п. 4.7.1. ЕОП п.10 НП-103-17; п. 64, 65 НП-58-14
4.1	Разработать Техническое задание	2 мес	Организация	Утверждённое ТЗ	

<sup>6</sup> Единый отраслевой порядок перевода пунктов размещения особых радиоактивных отходов в пункты консервации особых радиоактивных отходов или пункты захоронения радиоактивных отходов и переводов пунктов консервации особых радиоактивных отходов в пункты захоронения радиоактивных отходов. Утверждённые приказом Госкорпорации «Росатом» от 26.04.2022 № 1/507-П.

4.2	Разработать техническую и сметную документацию на восстановление и развитие сети наблюдательных скважин на площадках размещения ПРОРАО	2-3 мес	Подрядчик	Техническая документация и сметы работ	
4.3	Выполнить работы по восстановлению и развитию наблюдательных скважин в районе ПРОРАО и отбору проб воды из скважин.	3 мес	Подрядчик	Акты выполненных работ	
4.4	Анализ и систематизация данных по мониторингу грунтовых вод, включая сведения по новым скважинам, оконтуривание областей загрязнения (радиационного и химического), определение основных источников загрязнения, предварительная оценка динамики распространения.	3-4 мес	Подрядчик	Отчёт исходных данных по характеристикам проб воды из наблюдательных скважин	
5	<b>Реконструкция системы физической защиты (СФЗ) объектов ПРОРАО(при необходимости)</b>	6-8 мес	Организация с привлечением подрядчика		
5.1	Разработать ТЗ на реконструкцию СФЗ	2 мес	Организация	Утвержденное ТЗ	
5.2	Разработать проект и рабочую документацию	3-4 мес	Подрядчик	Проектная и рабочая документация	
5.3	Утвердить проект в Госкорпорации «Росатом»	1 мес	Организация ГК Росатом	Утвержденный проект	
5.4	Выполнить работы по реконструкции СФЗ	3-5 мес	Подрядчик	Акты выполненных работ	
6	<b>Провести инженерное и радиационное обследование объектов ПРОРАО</b>	6-7 мес	Организация с привлечением подрядчика		п. 4.7.1. ЕОП п.10 НП-103-17; п. 57 НП-58-14
6.1	Разработать ТЗ на инженерное и радиационное обследование объектов ПРОРАО и вы-	2 мес	Организация	Утвержденное ТЗ	



	полнение оценки остаточного ресурса конструкций ПРОРАО						
6.2	Разработать и утвердить программу обследования	2 мес	Подрядчик Организация	Утвержденная программа			
6.3	Выполнить инженерное обследование ПРО-РАО и объектов инфраструктуры (вспомогательные инженерные сооружения, дороги, ЭЛ, ВК и др.) и подготовить отчет.	2-3 мес	Подрядчик	Акты обследования. Итоговый отчет по обследованию.			
6.4	Выполнить радиационное обследование ПРО-РАО с отбором проб РАО в каждом из объектов в количествах достаточных для объективной идентификации суммарных радиационных характеристик РАО, и подготовить отчет.	2-3 мес	Подрядчик	Акты обследования. Итоговый отчет по обследованию. С учетом данных п. 3			
6.5	Выполнить расчётную оценку остаточного ресурса конструкций объектов ПРОРАО и покрывающих экранов.	2 мес	Подрядчик	Отчет			
7	<b>Проведение предварительных инженерных изысканий (ИИ) территории объектов ПРОРАО</b>	6-7 мес	Организация с привлечением подрядчика		п. 4.7.1. ЕОП п.10 НП-103-17; п. 57 НП-58-14		
7.1	Разработать ТЗ на инженерные изыскания	2 мес	Организация	Утвержденное ТЗ			
7.2	Разработать программы и сметы на ИИ	2 мес	Подрядчик Организация	Утвержденная программа ИИ			
7.3	Выполнение инженерных изысканий.	4-5 мес	Подрядчик	Отчеты по ИИ			
8	<b>Разработка основных технических решений по вариантам перевода ПРОРАО в ПКО-РАО или ПЗРО, проведение сравнительного анализа вариантов</b>	7-8 мес	Организация с привлечением подрядчика		п. 4.3 ЕОП; п. 7, п. 25 НП-103-17; п. 57, п. 63 НП-58-14		

8.1	Разработать ТЗ на разработку основных технических решений по переводу ПРОРАО в ПКРОАО или ПЗРО	2 мес			
8.2	Разработать основные технические решения по переводу ПРОРАО в ПКРОАО или ПЗРО	3-4 мес	Подрядчик	Отчет концептуального проекта	
8.3	Разработать цифровую информационную модель (ЦИМ) объекта ПРОРАО с объектами инфраструктуры.	2-3 мес	Подрядчик	Отчет ЦИМ	
8.4	Оценка долговременной безопасности конечного состояния объектов с учётом реализации технических решений по переводу в ПКРАО или ПЗРО	3 мес	Подрядчик	Отчет по ОДБ	п. 4.8.2 ЕОП п. 8 НП-103-17
8.5	Оценка дозowego воздействия на персонал и население от внешнего и внутреннего облучения (при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии) при реализации перевода	2 мес	Подрядчик	Отчет по радиационной безопасности работ	п. 4.8.2 ЕОП п. 8 НП-103-17
8.6	Разработка предварительных экономических оценок реализации перевода ПРОРАО в ПКРОАО или ПЗРО	2 мес	Подрядчик	Сметные расчеты, ССР, Отчет.	
9	<b>Разработка ОВОС по вариантам перевода ПРОРАО в ПКРОАО или ПЗРО</b>	6 мес	Организация с привлечением подрядчика		
9.1	Разработать ТЗ на ОВОС	2 мес	Организация	Утвержденное ТЗ	
9.2	Разработка материалов ОВОС	4 мес	Подрядчик	Материалы ОВОС	
10	<b>Актуализация ООБ ПРОРАО в части представления в нём основных положений Программы перевода ПРОРАО в ПКРАО или ПЗРО</b>	3 мес	Организация	Актуализированный ООБ	НП-103-17

11	Направление справки-обоснования выбора варианта перевода Объекта в новый статус и копии отчетов о проведении обследования ПРОРАО и результаты оценки безопасности ПРОРАО Директору по государственной политике в области РАО, ОЯГ и ВЭ ЯРОО.	После выполнения работ по п. п. 6 и 8.	Организация	Справка-обоснование, Отчеты по п. п. 6 и 8.	
12	Подготовка решения Госкорпорации «Росатом» о выборе варианта перевода Объекта в новый статус	1 мес	Организация ГК Росатом	Решение Госкорпорации Росатом	
13	Разработать ТЗ и ЗНП на выполнение проектной документации, необходимой для перевода ПРОРАО в новый статус по выбранному варианту.	4 мес	Организация Подрядчик ГК Росатом	Утвержденные ТЗ и ЗНП	п. 4.8.3 ЕОП <sup>7</sup> п. 13 НП-103-17; п. 63 НП-58-14

<sup>7</sup> Единые отраслевые методические указания по разработке задания на проектирование объекта капитального строительства, утверждённые приказом Госкорпорации "Росатом" от 23.12.2020 N 1/1590-П.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## Этап № 1

Реализация организационных и технических мероприятий по переводу Объекта в новый статус (включая разработку проектной и обосновывающей документации)

№ п.п.	Мероприятие	Срок исполнения	Исполнитель	Отчётные материалы	Примечание
1	2	3	4	5	6
1	Разработка Проекта перевода ПРОРАО в ПЗРО на основании утвержденного ТЗ и ЗНП перевода ПРОРАО в ПКОРАО (ПЗРО).  Разработка рабочей документации на дополнительные ИББ и др. объекты инфраструктуры.	9-12 мес	Подрядчик	Проектно-сметная документация. Рабочая документация.	ЕОМУ (приказ от 24.11.2017 № 335/686-П); п. 4.8.4 ЕОП; ПП РФ от 7 ноября 2020г. № 1796 «Об утверждении Положения о проведении государственной экологической экспертизы»; Направить проект в УРРПРОН для проведения специальной оценки.
2	Разработка материалов обоснования лицензии (МОЛ)	3-4 мес	Подрядчик	Отчет по МОЛ	
3	Проведение УРРПРОН специальной оценки Проекта перевода ПРОРАО в ПЗРО и подготовка заключения по технической части.	45 рабочих дней с даты получения Проекта УРРПРОН	ГК Росатом	Заключение по технической части проекта	п. 4.8.5 ЕОП <sup>8</sup> ; При отсутствии замечаний направление на утверждение Директору по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО.
4	Направить ДКВГСНиГЭ заявление о	1,5 рабочих	Организация	Заявление о	п. 4.8.6 ЕОП;

<sup>8</sup> Единый отраслевой порядок перевода пунктов размещения особых радиоактивных отходов в пункты консервации особых радиоактивных отходов или пункты захоронения радиоактивных отходов и переводов пунктов консервации особых радиоактивных отходов в пункты захоронения радиоактивных отходов. Утверждённые приказом Госкорпорации «Росатом» от 26.04.2022 № 1/507-П.

	проведении анализа и оценки Проекта перевода ПРОРАО в ПЗРО с комплектом документов согласно установленным требованиям.	дней с даты получения положительного заключения по технологической части	ГК Росатом	проведении анализа и оценки проектной документации	Единый отраслевой порядок проведения анализа и оценки проектной, проектной документации и результатов инженерных изысканий в Госкорпорации «Росатом», утвержденный приказом Госкорпорации «Росатом» от 31 мая 2017г. № 1/485-П.
5	Выдача заключения ДКВСНИГЭ по п. 1	Не более 3 месяцев с даты получения Проекта	ГК Росатом	Заключение ДКВСНИГЭ по проектной документации	п. 4.8.7 ЕОП.
6	Если в Проекте перевода ПРОРАО в ПЗРО предусмотрено строительство и/или реконструкция объектов капитального строительства, обеспечить: а) получение в Корпорации разрешения на строительство; б) направление Проекта перевода ПРОРАО в ПЗРО на Государственную экспертизу.	Не более 6 месяцев	Организация ГК Росатом	Разрешение Госкорпорации Росатом на строительство.  Заявление на Государственную экспертизу.	п. 4.8.8 ЕОП; а) Градостроительный Кодекс РФ от 29.12.2004г.; б) ПП РФ от 05.03.2007г. № 145 «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».
7	Утвердить Проект перевода ПРОРАО в ПЗРО соответствующим приказом руководителя после получения положительных заключений.	1 месяц после утверждения Проекта перевода ПРОРАО в ПЗРО	Организация	Приказ организации об утверждении проекта.	п. 4.8.9 ЕОП
8	Актуализировать (при необходимости) Программу перевода ПРОРАО в ПЗРО в соответствии с Проектом перевода ПРОРАО в ПЗРО.	1 месяц после утверждения Проекта перевода ПРОРАО	Организация	Актуализированная «Программа...»	п. 4.8.10 ЕОП

9	<p>Обеспечить получение следующих документов:</p> <p>а) санитарно-эпидемиологическое заключение, выданное в отношении работ по обращению с РАО и осуществлению радиационного контроля;</p> <p>б) заключение государственной экологической экспертизы материалов обоснования лицензии, разрешающей проведение работ по Программе и Проекту перевода ПРОРАО в ПЗРО;</p> <p>в) лицензия, разрешающая проведение работ по Программе и Проекту перевода ПРОРАО в ПЗРО.</p>	<p>в ПЗРО</p> <p>Сроки по подпунктам а) и б) совместить с заключительными этапами проектирования, этапами экспертизы Проекта и его утверждения</p>	<p>Организация</p>	<p>Санитарно-эпидемиологическое заключение;</p> <p>Заключение государственной экологической экспертизы МОЛ;</p> <p>Лицензия, разрешающая проведение работ по Программе и Проекту перевода ПРОРАО в ПЗРО.</p>	<p>После выполнения п. 7; п. 4.8.11 ЕОП;</p> <p>Положение о Федеральном медико-биологическом агентстве, утвержденное Правительством РФ от 11 апреля 2005г. № 206;</p> <p>Приказ Роспотребнадзора от 19 июля 2007г. № 224 «О санитарно-эпидемиологических экспертизах, обследованиях, исследованиях, испытаниях и токсикологических, гигиенических и иных видах оценок»;</p> <p>ПП РФ от 7 ноября 2020г. № 1796 «Об утверждении Положения о проведении государственной экологической экспертизы»;</p> <p>АР предоставления Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной услуги по лицензированию деятельности в области использования атомной энергии, утвержденный приказом Ростехнадзора от 8 октября 2014г № 453.</p>
10	<p>Обеспечить реализацию Программы и Проекта перевода ПРОРАО в ПЗРО и безопасность выполнения работ.</p>	<p>В соответствие с Программой перевода, осматриваясь на новьях сроках выпол-</p>	<p>Организация</p>	<p>Акты выполненных работ, отчеты и справки.</p>	<p>п. 4.8.12 ЕОП</p>

			нения проектных решений (скорректировать после утверждения Проекта перевода)						
11	Провести повторное проведение обследования и оценку безопасности ПРО-РАО для подтверждения его соответствия требованиям к обеспечению безопасности, установленным для ПЗРО. Подготовить отчёт.		1 месяц после реализации Программы и Проекта	Подрядчик	Отчеты по КИРО, Отчет ОДБ.	п. 4.8.13 ЕОП; Отчет утвердить руководителем Организации.			
12	Обеспечить разработку и подписание руководителем Организации распорядительного документа об отнесении РАО, дополнительно размещенных в ПРОРАО в соответствии с п. 14 НП-091-14, к особым РАО. (при необходимости).		1 месяц после реализации Программы и Проекта перевода ПРОРАО в ПЗРО	Организация	Распоряжение по организации	п. 4.8.14 ЕОП; п. 14 НП-091-14 «Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения».			
13	Приказом руководителя Организации назначить комиссию по проверке завершения работ по переводу ПРОРАО в ПЗРО		10 рабочих дней (для акта – в соответствии с приказом о работе комиссии)	Организация	Акт завершения работ. Приказ руководителя организации об утверждении Акта завершения работ.	п. 4.8.15 ЕОП; Результаты оформить актом проверки завершения работ по переводу ПРО-РАО в ПЗРО, утвердить руководителем Организации			
14	После утверждения акта проверки завершения работ обеспечить: а) корректировку ООБ ПРОРАО;		365 календарных дней	Организация		п. 4.8.17 ЕОП; Положение о Федеральном медико-биологическом агентстве, утвержден-			





**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**

**Этап № 2**

Подготовка комплектов документов для отнесения Правительством Российской Федерации Объекта к новому статусу

№ п.п.	Мероприятие	Срок исполнения	Исполнитель	Отчётные материалы	Примечание
1	2	3	4	5	6
1	Направить комплект документов для перевода Объекта в новый статус с письмом об организации рассмотрения данного комплекта директору по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО.	До 30 августа года исполнения (обусловлено тем, что изменения в перечни ПЗРО вносятся 1 раз в год)	Организация	Письмо директору по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО. и Документы по Приложению 1 или Приложению 2 или Приложению 3	п. 5.1. ЕОП; ПП РФ от 01.06.2004г. № 260 «О Регламенте Правительства РФ и Положении об Аппарате Правительства РФ».
2	Директор по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО организует рассмотрение ПО «ЕГС РАО» комплекта документов для перевода Объекта в новый статус.	2 недели с даты получения комплекта документов	ГК Росатом	Рассмотрение документов	п. 5.2. ЕОП
3	ПО «ЕГС РАО» обеспечивает рассмотрение комплекта документов на предмет его полноты и достаточности и направляет его в ДПКР для дальнейшей работы	1 месяц с даты получения комплекта документов	ГК Росатом	Рассмотрение документов.	п. 5.3. ЕОП; В случае, если комплект документов является неполным или недостаточным, ПО «ЕГС РАО» возвращает его в Орга-

					<p>низацию на доработку с пояснительной запиской, содержащей мотивированные причины возврата на доработку.</p> <p>п. 5.4. ЕОП;</p> <p>Комплект дорабатывается в соответствии с пояснительной запиской, утвержденной руководителем ПО «ЕГС.РАО».</p>
4	<p>Организация обеспечивает доработку документов и направляет директору по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО на повторное рассмотрение.</p>	<p>2 месяца с даты возврата документов</p>	<p>Организация</p>	<p>Доработанные Документы по Приложению 1 или Приложению 2 или Приложению 3</p>	<p>Подготовка и утверждение дополнений к Акту первичной регистрации</p>
5	<p>В случае необходимости произвести корректировку Акта первичной регистрации.</p>	<p>1 месяц с даты получения комплекта документов</p>	<p>Организация</p>	<p>Дополнение к акту первичной регистрации</p>	<p>п. 5.5. ЕОП;</p>
6	<p>ДПКР разрабатывает проект распоряжения Правительства РФ о внесении изменений в перечни ПЗРО, согласно которому Объект будет переведен в новый статус</p>	<p>В соответствии с Положением – 1 раз в год.</p>	<p>ГК Росатом</p>	<p>Проект распоряжения Правительства РФ.</p>	<p>п. 5.6. ЕОП;</p> <p>Приказ Госкорпорации «Росатом» от 26.09.2018г. № 1/1083-П «Об утверждении порядка подготовки проектов подзаконных нормативных правовых актов в Госкорпорации «Росатом»;</p> <p>Распоряжение Правительства РФ от 17.02.2016 № 238 «Об утверждении перечней пунктов захоронения радиоактивных отходов, пунктов долговременного хранения радиоактивных отходов, пунктов размещения особых радиоактивных отходов»</p>

						дов, пунктов консервации опасных радиоактивных отходов»; ПП РФ от 01.06.2004г. № 260 «О Регламенте Правительства РФ и Положении об Аппарате Правительства РФ»;
7	После согласования проекта распоряжения с ФОИВ ДЦКР направляет проект распоряжения в Аппарат Правительства РФ	В соответствии с положениями Приказа Госкорпорации «Росатом» от 26.09.2018г. № 1/1083-П	ГК Росатом	Проект распоряжения правительства РФ	п. 5.7. ЕОП; Приказ Госкорпорации «Росатом» от 26.09.2018г. № 1/1083-П «Об утверждении порядка подготовки проектов подзаконных нормативных правовых актов в Госкорпорации «Росатом»	
8	После вступления в силу распоряжения об отнесении Объекта к новому статусу ПО «ЕГС РАО» направляет выписку из распоряжения в Организацию.	В течение 1 месяца после вступления распоряжения в силу.	ГК Росатом	Выписка распоряжения правительства РФ	п. 5.9. ЕОП;	
9	После получения копии распоряжения Правительства РФ об отнесении объекта к новому статусу обеспечить уведомление органа регулирования безопасности об изменении статуса Объекта и (при необходимости) внесение изменений в УДЛ (получение новой лицензии), разрешающей осуществление деятельности по эксплуатации пункта хранения РАО в новом статусе.	В течение 3 месяцев после получения копии распоряжения Правительства РФ	Организация	Письмо – уведомление. (При необходимости) - Перечень документов на внесение изменений в УДЛ или получения новой лицензии.	п. 5.11. ЕОП; Административный Регламент представительства Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной услуги по лицензированию деятельности в области использования атомной энергии, утвержденный приказом Ростехнадзора от 8 октября 2014г № 453.	

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по государственной  
политике в области РАО, ОЯТ  
и ВЭ ЯРОО  
Госкорпорации «Росатом»

\_\_\_\_\_

ДОПОЛНЕНИЕ

к акту первичной регистрации радиоактивных отходов

№ 1-2.4/\_\_\_ от \_\_\_ 201\_\_ г.

В ЕГРН зарегистрирован объект недвижимости с наименованием – «ПХ ТРО (инв. № \_\_\_)», кадастровый номер \_\_\_\_\_.

Для удобства идентификации объект в СГУК РВ и РАО поименован, как «Хранилище ПХ ТРО».

В лицензии № \_\_\_ от \_\_\_ объект указан как « \_\_\_\_\_ ».

Описание пункта хранения РАО приведено в пояснительной записке к акту первичной регистрации РАО.

Выполнено обоснование отнесения накопленных РАО к особым РАО, согласно критериям Постановления Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 №1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения РАО к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых РАО» (с изменениями и дополнениями от 4 февраля 2015 г.), а пункта хранения к пункту размещения особых РАО.

Объект недвижимости с наименованием – «ПХ ТРО (инв. № \_\_\_)» должен быть отнесен к пункту размещения особых РАО.

Данные изменения не влияют на объем и активность радиоактивных отходов, размещенных в пункте хранения РАО.

Считать данный документ неотъемлемой частью акта первичной регистрации РАО № 1-2.4/\_\_\_ от \_\_\_ 201\_\_ г.

Руководитель ПО ЕГС РАО  
Госкорпорации «Росатом»

Генеральный директор  
АО «Магнит»

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ А.М. Озерный

«\_\_» \_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

### **Пример сценариев эволюции пункта хранения твердых РАО**

#### **Вариант 1 (сценарий 1 с дополнительными барьерами безопасности)**

Сценарий нормальной эволюции основан на следующих концептуальных предположениях об эволюции системы размещения РАО:

– принимается, что над ПХРО будет сооружен покрывающий экран (характеристики покрывающего экрана, задаваемого при выполнении расчетов миграции радионуклидов, должны быть приведены), который исключит сценарий перелива (bathtub) и выноса радионуклидов из ПХРО с поверхностными водами;

– в период административного контроля системы размещения РАО доступ населения на территорию ПХРО будет ограничен, однако возможно проживание населения на прилегающих территориях (на границе СЗЗ);

– после консервации пункта размещения особых РАО инженерные барьеры безопасности подвергаются внутренним воздействиям, приводящим к их деградации и снижению изолирующих свойств, таким как: образование агрессивных химических соединений; газовыделение за счет процессов коррозии контейнеров и конструкционных материалов; микробиологическое разложение органических РАО; химическое разложение РАО; воздействие радиационно-физических факторов; механические и геохимические процессы;

– предположения об эволюции инженерных барьеров безопасности ХТО и площадки ПХРО по варианту 1 приведены в таблице О.1.1;

– через 300 лет покрывающий экран станет обладать фильтрационными и сорбционными свойствами, а инженерные барьеры станут обладать фильтрационными и сорбционными свойствами, аналогичными песку.

Таблица 0.3.1 – Пример описания эволюция инженерных барьеров безопасности пункта хранения твердых РАО по варианту I

Период	Состояние барьеров безопасности	Состояние площадки размещения ПХРО
Административный контроль (активный) С настоящего времени до 100 лет	<p>Покрывающий экран герметичен. Фундамент и стены не имеют трещин не допускают проникновение грунтовых вод. Инфильтрационное питание над ПХРО отсутствует, ввиду отвода осадков. Загрязненные воды не поступают в геологическую среду.</p>	<p>Поддержание площадки в рабочем состоянии. Своеремленные работы по вырубке растительности на площадке. Своеремленные работы по чистке траншей. Ведение мониторинга и радиационного контроля. Обеспечение физической пожарной защиты территории.</p>
Административный контроль (пассивный) Период 100-300 лет	<p>Покрывающие экраны не в полной мере обеспечивают отвод атмосферных осадков (геомембрана утратила изолирующие свойства, бетонные барьеры растрескались и обладают высокой проницаемостью). Эффективность экранов по предотвращению инфильтрации осадков определяется естественными свойствами пород, их слагающих. Система водосбора приходит к естественному состоянию, соответствующему окружающим природным участкам. Инфильтрационное питание устанавливается на уровне окружающих заливных территорий, как следствие снижается УГВ на площадке. Выход активности из ПХРО возможен вследствие просачивания воды через разрушенный покрывающий экран. В дальнейшем загрязненные воды поступают в геологическую среду.</p>	<p>Обеспечение сохранения знаний о площадке. Ограничение доступа населения (поддержание оградждения). Мониторинг и радиационный контроль не проводится. Наблюдается зарастание площадки местными видами деревьев и кустарников.</p>
Период по истечении 300 лет	<p>Покрывающий экран утрачивает изолирующие свойства, вследствие нарушения целостности корнями растений, эрозии, активности норных животных и т.д. Поверхностный сток соответствует окружающим природным участкам. Вынос радионуклидов происходит за счет инфильтрации осадков, протекающих через ПХРО и далее в геологическую среду.</p>	<p>Работы на площадке не проводятся. Наблюдается зарастание площадки местными видами деревьев и кустарников. Возможно непреднамеренное вторжение человека на площадку ПХРО.</p>

### **Вариант 1 (альтернативный сценарий 1)**

*В альтернативном сценарии эволюции 1 системы размещения РАО учитывается воздействие на ПХРО маловероятного землетрясения с интенсивностью, превышающей МРЗ, свойственное району размещения ПХРО (сейсмичность площадки принята 6 баллов по шкале MSK-64).*

*Данное событие в районе размещения ПХРО не окажет катастрофического воздействия. Следствием этого события будет увеличение проницаемости инженерных барьеров безопасности и увеличение количества инфильтрующихся в ПХРО атмосферных осадков.*

*Последствия этого землетрясения не будут устранены, так как период активного административного контроля площадки ПХРО, когда эксплуатирующая организация обеспечивает поддержание барьеров в рабочем состоянии, на момент землетрясения завершен.*

*Другими словами, предполагается, что характеристики барьеров через 100 лет после закрытия ПХРО будут соответствовать характеристикам барьеров, принятых в сценарии нормальной эволюции на момент времени 300 лет.*

### **Вариант 1 (альтернативный сценарий 2)**

*Данный альтернативный сценарий учитывает неопределенность гидрогеологических данных о площадке ПХРО.*

*Принимая во внимание ранее проведенные исследования, можно предположить, что радионуклиды из ПХРО не попадут в первый от поверхности водоносный горизонт. В данном сценарии предполагается, что миграция радионуклидов будет происходить по отложениям ручья, протекающего через площадку ПХРО.*

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

### Проект Методических рекомендаций “Оценка экологического ущерба при радиационном загрязнении территорий с лесными насаждениями”

#### Назначение и область применения рекомендаций

Методические рекомендации по оценке экологического ущерба при радиационном загрязнении территорий с лесными насаждениями (далее - Рекомендации) устанавливают особенности оценок экологического ущерба в районах размещения пунктов хранения (хранилищ) радиоактивных отходов (РАО).

Рекомендации предназначены для специалистов органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, осуществляющих планирование и осуществление деятельности на территориях, находящихся в зонах наблюдения объектов использования атомной энергии.

#### Нормативные ссылки

Перечень нормативных документов Российской Федерации, регулирующих режим территорий, использование земель, подвергшихся радиоактивному загрязнению, и радиационную безопасность населения включает следующие документы:

- 5) Лесной кодекс Российской Федерации от 04 декабря 2006 года № 200-ФЗ;
- 6) Федеральный Закон Российской Федерации «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 года № 3-ФЗ;
- 7) Закон Российской Федерации от 15 мая 1991 года № 1244-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС»;
- 8) Постановление Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2004 года № 112 «Об использовании земель, подвергшихся радиоактивному и химическому загрязнению, проведении на них мелиоративных и культуртехнических работ, установлении охранных зон и сохранении находящихся на этих землях объектов»;
- 9) Постановление Правительства Российской Федерации от 25 декабря 1992 года № 1008 «О режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС»;
- 10) Постановление Правительства Российской Федерации от 30 июня 2007 г. № 417 «Об утверждении правил пожарной безопасности в лесах»;
- 11) Постановление Правительства Российской Федерации от 29 июня 2007 г. № 414 «Об утверждении правил санитарной безопасности в лесах»;
- 12) Постановление Правительства Российской Федерации от 22 мая 2007 года № 310 «О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности»;
- 13) Постановление Правительства РФ от 3 ноября 2018 г. №1321 «Об утверждении такс для исчисления размера ущерба, причиненного водным биологическим ресурсам»;
- 14) Постановление Правительства РФ от 29 декабря 2018 г. №1730 «Об утверждении особенностей возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства»;



15) Постановление Правительства Российской Федерации от 22 мая 2007 года № 310 «О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности»;

16) Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 16 июля 2007 г. № 185 «Об утверждении правил ухода за лесом»;

17) Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 16 июля 2007 г. № 184 «Об утверждении правил заготовки древесины»;

18) Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 9 июля 2007 г. № 174 «Об утверждении порядка организации и осуществления лесопатологического мониторинга»;

19) Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 8 июня 2007 г. № 148 «Об утверждении порядка исчисления расчётной лесосеки»;

20) Руководство по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий, утверждённое приказом Рослесхоза от 29 декабря 2007 г. № 523 «Об утверждении методических документов»;

21) Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 08 июня 2017 г. № 283 «Об утверждении Особенности осуществления профилактических и реабилитационных мероприятий в зонах радиоактивного загрязнения лесов»;

22) Приказ Министерства природных ресурсов 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»;

23) Приказ Минприроды России от 8 декабря 2011 г. № 948 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного охотничьим ресурсам»;

24) Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 17 ноября 2017 г. № 612 «О внесении изменений в приложения 1 и 3 к Методике исчисления размера вреда, причиненного охотничьим ресурсам, утвержденной приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 8 декабря 2011 г. № 948»;

25) Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 25.11.2020 № 965 «Об утверждении нормативов допустимого изъятия охотничьих ресурсов и нормативов численности охотничьих ресурсов в охотничьих угодьях»;

26) Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010), СП 2.6.1.799-99/2010, утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 27 декабря 1999 года;

27) Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции лесного хозяйства. Санитарные правила СП 2.6.1.759-99, утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 02 июля 1999 года;

28) Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Санитарные правила СП 2.6.1.758-99/2009, утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 02 июля 1999 года;

29) ГОСТ Р 22.11.06-2014. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасность жизнедеятельности населения на радиоактивно загрязненных территориях. Безопасное использование лесов на землях лесного фонда и иных категорий. Общие требования.

## Общие положения

В настоящих методических рекомендациях рассматриваются лесные экосистемы, включающие в себя природные и природно-антропогенные объекты, в том числе особо охраняемые природные территории, а также природные ландшафты, имеющие особое природоохранное значение.

Оценка ущерба производится по факту радиационного воздействия на экосистему. Для прогностических целей методика может быть использована в предположении, что воздействие совершено на момент оценки.

При оценке ущерба вследствие воздействия радиации на лесную экосистему учитываются следующие события (последствия):

- уничтожение (гибель) единицы экосистемы или её повреждение до степени прекращения роста;
- повреждение, не влекущее прекращение роста (временная стерилизация, снижение плодovitости/продуктивности, сокращение среднего периода жизни за счёт сукцессии, повышение мутагенности в потомстве и т. д.);
- долговременное нарушение состояний биоты, выраженное в превышении допустимых уровней (нормативов) радиационных факторов (лесохозяйственных, ветеринарных, фито- санитарных, санитарно-гигиенических, экологических и/или иных нормативов);
- загрязнение территории (почв) радиоактивными веществами выше установленных нормативных величин.

Ущерб ( $D$ ) оценивается от каждого вышеперечисленного события по соотношению (6.1):

$$D = I \cdot (K \cdot (D_l + D_m) + D_{lvsb} + D_p), \quad (6.1)$$

где  $I$  – коэффициент индексации ставок платы за единицу объёма лесных ресурсов и за единицу площади лесного участка (см. Приложение 1);

$D_l$  – оценка ущерба гибели единиц экосистемы или её повреждение до степени прекращения роста;

$D_m$  – оценка ущерба повреждений единиц экосистемы, не влекущих прекращение роста/ функционирования;

$D_{lvsb}$  – (long-term violation of the state of biota) оценка ущерба от долговременного (>6 лет) нарушения состояний биоты, выраженное в превышении допустимых уровней (нормативов) радиационных факторов;

$D_p$  – оценка ущерба за результат радиоактивного загрязнения земель лесного фонда.

Указание на долговременное нарушение состояний биоты связано с тем, что не исключены ситуации загрязнения, обусловленные, в том числе присутствием долгоживущих радионуклидов, миграция/накопление которых в корнеобитаемом слое почвы имеет временной лаг и, соответственно, накопление радионуклидов организмами биоты в системе «почва-растение-животное» может наблюдаться через несколько лет после загрязнения территории.

При оценке ущерба рассматриваются леса 2-х категорий:

- лесные насаждения, заготовка древесины которых допускается (эксплуатационные леса);
- лесные насаждения, заготовка древесины которых не допускается.

В свою очередь, леса могут обладать законодательно присвоенным статусом:

- особо охраняемая природная территория;
- особо защитный участок защитных лесов, а также лес, расположенный в лесопарковых зеленых поясах;
- защитный лес, особо защитный участок леса;
- статус не установлен.

При оценке ущерба на древесную, кустарниковую и иную растительность с учётом статуса леса применяют повышающий коэффициент  $K$ :

- по умолчанию  $K=1$ ,
- для защитных лесов, особо защитных участках лесов  $K=2$ ,
- для особо защитных участков защитных лесов, а также лесов, расположенных в лесопарковых зеленых поясах  $K=3$ ,
- для лесов, расположенных на особо охраняемых природных территориях  $K=5$ .

Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 29 декабря 2018 г. № 1730 «Об утверждении особенностей возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства» отличие между размером ущерба за единицу погибшего и повреждённого растения составляет для древесных культур – 1/5, а для кустарниковых культур – 1/2.

По аналогии принимается, что оценка ущерба за результат повреждения единицы биоты (фауны/флоры) ( $D_m^{\text{единица биоты}}$ ) по сравнению с оценкой ущерба в результате гибели единицы фауны (флоры) в 5 раз меньше для случаев, если вид биоты относится к разряду добываемых (охотничьих)/используемых ресурсов, и в 2 раза меньше для прочих видов единиц биоты. То есть,

$$D_m^{\text{единица биоты}} = \begin{cases} \frac{1}{5} \cdot D_l^{\text{единица биоты (добыча)}} \\ \text{или} \\ \frac{1}{2} \cdot D_l^{\text{единица биоты (прочее)}} \end{cases}.$$

Таким же образом принимаем, что оценка ущерба от долговременного нарушения состояний единицы биоты, выраженное в превышении допустимых уровней (нормативов) радиационных факторов, будет в 5 раз меньше по сравнению с оценкой ущерба за результат повреждения единицы биоты для случаев, если вид биоты относится к разряду добываемых (охотничьих)/используемых ресурсов, и в 2 раза меньше (повреждения единицы биоты) для прочих видов единиц биоты. То есть,

$$D_{lvsb}^{\text{единица биоты}} = \begin{cases} \frac{1}{5} \cdot D_m^{\text{единица биоты(добыча)}} = \frac{1}{25} \cdot D_l^{\text{единица биоты (добыча)}} \\ \text{или} \\ \frac{1}{2} \cdot D_m^{\text{единица биоты(прочее)}} = \frac{1}{4} \cdot D_l^{\text{единица биоты(прочее)}} \end{cases}.$$

В настоящих рекомендациях в качестве первого шага рассматривается ущерб от радиоактивного загрязнения территории. Под радиоактивным загрязнением территории, согласно приказу Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 08 июня 2017 г. № 283 «Об утверждении Особенности осуществления профилактических и реабилитационных мероприятий в зонах радиоактивного загрязнения лесов», принимается такой уровень удельной активности корнеобитаемого слоя почвы, который в случае приведения к поверхности почвы составит величину поверхностной плотности загрязнения:

- цезием-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) больше или равную  $37 \text{ кБк/м}^2 (\geq 1 \text{ Ки/км}^2)$ ;
- и/или стронцием-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) больше или равную  $5,55 \text{ кБк/м}^2 (\geq 0,15 \text{ Ки/км}^2)$ ;
- и/или плутонием-239 ( $^{239}\text{Pu}$ ) больше или равную  $0,37 \text{ кБк/м}^2 (\geq 0,01 \text{ Ки/км}^2)$ .

Для случаев загрязнения территории другими техногенно образованными радионуклидами принимается, что зона радиоактивного загрязнения определяется через средние годовые эффективные дозы облучения лиц категории население с учётом использования/потребления лесных ресурсов, которые должны быть эквивалентны аналогичной средней годовой эффективной дозе для установленных федеральным органом исполнительной власти уровней загрязнения радионуклидами цезия-137 и/или плутонием-239.

Для других  $\gamma$ -излучающих радионуклидов (кроме  $^{137}\text{Cs}$ ) граничные значения могут быть приняты равными согласно Приложения 2. При загрязнении  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучающими радионуклидами (кроме  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239}\text{Pu}$ ) граничные значения могут быть приняты равными согласно Приложения 3.

Определяют:

к) зона низкой степени загрязнения лесов – по плотности загрязнения почвы цезием-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) – от 1 до 5 Ки/км<sup>2</sup> (от 37 до 185 кБк/м<sup>2</sup>) и по плотности загрязнения почвы стронцием-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) от 0,15 до 1 (от 5,55 до 37 кБк/м<sup>2</sup>);

л) зона средней степени загрязнения лесов – по плотности загрязнения почвы цезием-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) от 5 до 15 Ки/км<sup>2</sup> (от 185 до 555 кБк/м<sup>2</sup>) и по плотности загрязнения почвы стронцием-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) от 1 до 3 Ки/км<sup>2</sup> (от 37 до 111 кБк/м<sup>2</sup>);

м) зона высокой степени загрязнения лесов – по плотности загрязнения почвы цезием-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) от 15 до 40 Ки/км<sup>2</sup> (от 555 до 1480 кБк/м<sup>2</sup>) и по плотности загрязнения почвы стронцием-90 ( $^{90}\text{Sr}$ ) свыше 3 Ки/км<sup>2</sup> (свыше 111 кБк/м<sup>2</sup>);

н) зона крайне высокой степени загрязнения лесов - по плотности загрязнения почвы цезием-137 ( $^{137}\text{Cs}$ ) свыше 40 Ки/км<sup>2</sup> (свыше 1480 кБк/м<sup>2</sup>).

Как показывает опыт катастрофы на Чернобыльской АЭС, вопросы очистки и рекультивации радиоактивно загрязнённых земель лесного фонда (приведение их в состояние, пригодное для дальнейшего использования) сопряжены со значительными технологическими, включая обеспечение радиационной безопасности, и логистическими трудностями (возможно образование большого объёма радиоактивных отходов) и, вследствие этого, отсутствует практика таких работ. Оценить размер затрат, связанных с очисткой радиоактивно загрязнённой территории и приведением ее в состояние, пригодное для дальнейшего использования, как предписывают нормативные акты федеральных органов исполнительной власти при оценке ущерба за результат загрязнения, не представляется возможным.

В зонах разной степени загрязнения (зоны радиоактивного загрязнения) применяется своя система мер, отличающаяся по структуре и объёму профилактических и реабилитационных мероприятий.

Так как, территория зоны крайне высокой степени радиоактивного загрязнения отчуждается из обращения (переводится в земли запаса) на неопределённый срок ( $t > 30$  лет), лесные ресурсы не используются, воспроизводство лесов осуществляется естественными способами, мониторинг за пожарной безопасностью, лесопатологический мониторинг и лесопатологические обследования проводятся дистанционными методами или посредством автоматизированных средств наблюдения. В зоне крайне высокой степени загрязнения лесов разрешаются только рубки в рамках противопожарного обустройства лесов и уборка неликвидной древесины, которые должны осуществляться с учетом следующих особенностей (Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 8 июня

2017 г. № 283 «Об утверждении Особенности осуществления профилактических и реабилитационных мероприятий в зонах радиоактивного загрязнения лесов»):

– очистка мест рубок должна осуществляться путем сбора порубочных остатков в валы с последующим созданием минерализованных полос вокруг каждого из валов, с устройством на поверхности вала сплошного минерального слоя почвы;

– вывоз древесины с лесосек не производится;

– древесина, полученная в ходе рубки в рамках противопожарного обустройства лесов, должна раскряжевываться на отрезки длиной не более 1,5 метра и укладываться в валы вместе с порубочными остатками.

Затраты, связанные с очисткой территории и приведением ее в состояние, пригодное для дальнейшего использования, в зоне крайне высокой степени радиоактивного загрязнения не предусмотрены.

В этой ситуации делается допущение, что размер ущерба за результат загрязнения территории должен быть сопоставим с затратами на проведение профилактических и реабилитационных мероприятий, которые, в свою очередь, пропорциональны размеру загрязнённых площадей и эквивалентны кадастровой стоимости земель до момента их аварийного/сверхнормативного загрязнения.

Например, все компоненты лесной экосистемы, ареал обитания которых находится в зоне крайне высокой степени радиоактивного загрязнения (для примера рассматривается загрязнение цезием-137), считаются, как минимум, нарушенными, а размер затрат, связанных с очисткой территории и приведением ее в состояние, пригодное для дальнейшего использования, приравнивается к средней кадастровой стоимости участка земель субъекта Российской Федерации, подвергшегося радиоактивному загрязнению, нормируемой на единицу площади.

В зоне высокой степени радиоактивного загрязнения лесов затраты направлены на проведение профилактических и реабилитационных мероприятий, включая:

– предотвращение вторичного загрязнения лесов радионуклидами,

– сохранение средообразующих функций лесов,

– получение нормативно чистой по радиационному фактору древесины и других лесных ресурсов, а также продуктов их переработки.

В зоне высокой степени радиоактивного загрязнения сохранение средообразующих функций лесов осуществляется через естественное и комбинированное восстановление лесов, в том числе под пологом лесных насаждений. При комбинированном восстановлении лесов должен высаживаться посадочный материал преимущественно хозяйственно ценных лиственных пород. Получение нормативно чистой по радиационному фактору древесины и других лесных ресурсов, а также продуктов их переработки, производится посредством рубки в рамках противопожарного обустройства лесов, добровольно-выборочные рубки, выборочные санитарные рубки и уборка неликвидной древесины с учётом не превышения удельной активности радиоактивных веществ, содержащихся в древесине, уровня **370 Бк/кг**.

За повреждение древесных и кустарниковых пород принимаются случаи, при которых удельная активность радиоактивных веществ в их древесине превышает 370 Бк/кг, то есть такая древесина исключается из хозяйственного оборота. Для прочих единиц лесной экосистемы (лесных ресурсов) за повреждение принимаются случаи с уровнем радиоактив-

ных веществ, превышающих установленные нормативами (санитарными, фитосанитарными, ветеринарными, рыбохозяйственными и прочими допустимыми экологическими критериями) допустимые уровни содержания радиоактивных веществ. Так как в зоне высокой степени радиоактивного загрязнения не предусмотрены меры, связанные с очисткой территории и приведением ее в состояние, пригодное для дальнейшего использования, то размер затрат приравнивается к средней кадастровой стоимости участка земель субъекта Российской Федерации нормируемой на единицу площади.

В зонах средней и низкой степени загрязнения лесов по аналогии с зоной высокой степени радиоактивного загрязнения за повреждения (объекты не участвуют в хозяйственном обороте из-за несоответствия нормативным значениям) принимают случаи, когда:

- удельная активность радиоактивных веществ (как пример, цезиум-137) в древесине превышает 370 Бк/кг;
- в объектах растительного и животного мира содержание радиоактивных веществ превышает установленные нормативные значения (допустимые уровни) содержания радиоактивных веществ или критерии допустимого уровня радиационного воздействия (мощности поглощенной дозы) на биоту.

В зонах средней и низкой степени загрязнения лесов размер затрат на меры, связанные с очисткой территории и приведением ее в состояние, пригодное для дальнейшего использования, приравниваются к средней кадастровой стоимости участка земель субъекта Российской Федерации нормируемой на единицу площади.

#### **Алгоритм оценки ущерба при наличии радиационного загрязнения территорий с лесными насаждениями**

В районе расположения пунктов временного размещения РАО сельскохозяйственная деятельность ограничена. Преимущественно можно считать, что прилегающие территории будут залесенными. В этом случае ущерб предварительно можно оценить исходя из средней кадастровой стоимости участка земель субъекта Российской Федерации нормируемой на единицу площади.

Первоначально производится отбор кадастровых участков по следующим критериям:

$$\sum_r (\bar{\sigma}_r \cdot \frac{R_r}{\lambda_r + \lambda_b}) \geq \sigma_{Cs-137}^{(1)} \cdot \frac{R_{Cs-137}}{\lambda_{Cs-137} + \lambda_b}; \quad (6.2)$$

или

$$\sum_r (\bar{\sigma}_r \cdot \varepsilon_r \cdot K_r^{\text{грибы}}) \geq \sigma_{Cs-137}^{(1)} \cdot \varepsilon_{Cs-137} \cdot K_{Cs-137}^{\text{грибы}}; \quad (6.3)$$

где  $\sigma_{Cs-137}^{(1)}$  – плотность радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  с уровнем 1 Ки/км<sup>2</sup> (37000 Бк/м<sup>2</sup>);

$\bar{\sigma}_r$  – средняя плотность радиоактивного загрязнения  $r$ -м радионуклидом кадастрового участка (квартала, выдела), Ки/км<sup>2</sup> (Бк/м<sup>2</sup>);

$R_r, R_{Cs-137}$  – коэффициент дозового преобразования при внешнем облучении человека от радиоактивно загрязненной поверхности без учета глубинного распределения для  $r$ -того радионуклида и  $^{137}\text{Cs}$ , соответственно, (Зв·м<sup>2</sup>)/(с·Бк);

$\lambda_{Cs-137}, \lambda_r$  – постоянная радиоактивного распада  $^{137}\text{Cs}$  и  $r$ -того радионуклида, соответственно, с<sup>-1</sup>;

$\lambda_b$  – постоянная спада мощности дозы  $\gamma$ -излучения от загрязненной поверхности

земли за счет экранирования верхними слоями почвы, диффузии вглубь и выведения радионуклидов из нее за счет различных процессов, кроме радиоактивного распада,  $\text{с}^{-1}$  (в случае отсутствия данных местных натурных исследований рекомендуется принимать равной  $1,27 \cdot 10^{-9} \text{с}^{-1}$ );

$\varepsilon_{\text{Cs-137}}$ ,  $\varepsilon_r$  – коэффициент дозового преобразования при пероральном поступлении радионуклида цезия-137 и  $r$ -того радионуклида для возрастной группы, являющейся критической по пероральному поступлению радионуклида  $r$ , Зв/Бк;

$K_{\text{Cs-137}}^{\text{грибы}}$ ,  $K_r^{\text{грибы}}$  – коэффициенты накопления (КН)  $^{137}\text{Cs}$  и  $r$ -того радионуклида в продукт питания – грибы (эквивалент дикорастущей продукции леса), приведены в таблице 3.2 Приложения 2 с использованием результатов исследований<sup>9</sup>.

Для рассматриваемого радионуклида выбираются наименьшие уровни радиоактивного загрязнения кадастрового участка в Приложении 2 (таблицы 3.1 и 3.2, в которых приведены расчеты таких уровней для наиболее значимых радионуклидов по двум путям формирования дозовой нагрузки на человека), а таблица 3.3 этого Приложения содержит объединенные критерии для принятия предварительного решения о наличии значимого радиоактивного загрязнения территории с лесными насаждениями.

Затем площади загрязненных кадастровых участков суммируются отдельно по зонам загрязнения:

$$S_{\text{рзт}}^k = \sum_i S_i^{k,r}, \quad (6.4)$$

где  $S_i^{k,r}$  – площадь  $i$ -того кадастрового участка, отвечающего критериям  $k$ -ой зоны радиоактивного загрязнения для  $r$ -радионуклида, га.

В дальнейшем верхние индексы для упрощения записей, опускаются.

Оценка ущерба вследствие радиоактивного загрязнения земель производится с учетом результатов кадастровой оценки стоимости земель лесного фонда на момент до начала загрязнения, полученных организациями органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, имеющих полномочия и компетенции на данную оценку (информация о результатах кадастровой оценки земель в разрезе субъектов Российской Федерации доступна на официальном сайте Росреестра или Управлений/Министерств имущественных отношений органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации):

$$D_p = 5 \cdot S_{\text{рзт}} \cdot \frac{\sum_l C_l}{S_{\text{лесфонд}}}, \quad (6.5)$$

или

$$D_p = 5 \cdot S_{\text{рзт}} \cdot \overline{C_{\text{лесфонда}}}, \quad (6.6)$$

где  $l$  – количество кадастровых участков на землях лесного фонда субъекта Российской Федерации, на территории которого оценивается ущерб вследствие радиационного воздействия;

$C_l$  – кадастровая стоимость  $l$ -участка, руб.;

<sup>9</sup> Baeza A., Guille 'n J., Mietelski J.W., Gaga H. Soil-to-fungi transfer of  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Am}$ . Radiochim. Acta 94. – 2006. – pp. 75-80.

$\overline{C}_{\text{лесфонда}}$  – средний удельный показатель кадастровой стоимости земель лесного фонда, руб./га;

$S_{\text{лесфонд}}$  – площадь земель лесного фонда субъекта Российской Федерации в единицах измерения соответствующим единицам измерения площади радиоактивно загрязнённых земель; коэффициент 5 приведен по аналогии п.8 Приложения 3 **Постановления Правительства РФ от 29 декабря 2018 г. № 1730 «Об утверждении особенностей возмещения вреда, причиненного лесам и находящимся в них природным объектам вследствие нарушения лесного законодательства»** и, как бы, предполагает учёт затрат, связанных с вынужденным увеличением объёма и частоты радиационного/социально-гигиенического мониторинга.