

**ПРОБЛЕМЫ  
ЯДЕРНОГО  
НАСЛЕДИЯ  
И ПУТИ  
ИХ РЕШЕНИЯ**

**ТОМ 2**

МОСКВА  
2013

В подготовке разделов приняли участие:

Васильев В.А. (гл. 4), Захарчев А.А. (разд. 4.1, 4.5, 4.6), Григорьев А.В. (разд. 4.5), Комаров Е.А. (разд. 4.1) — Госкорпорация «Росатом»; Рыбальченко А.И. (разд. 7.3) — ОАО «ВНИПИПромтехнологии»; Поляков Ю.Д. (гл. 3–5) — ФГУП «Национальный оператор по обращению с РАО»; Абалкина И.Л. (разд. 1.1), Антипов С.В. (разд. 4.4), Большов Л.А. (гл. 3, 7), Дорогов В.И. (гл. 2), Илюшкин А.И. (разд. 4.1), Капырин И.В. (разд. 7.2), Ковальчук В.Д. (гл. 3), Линге И.И. (гл. 1–7, прил. 1), Ободинский А.Н. (гл. 4), Панченко С.В. (прил. 1), Савельева-Трофимова Е.А. (разд. 7.3), Саркисов А.А. (глава 4), Уткин С.С. (разд. 4.2, гл. 7, прил. 1) — ИБРАЭ РАН; Супатаева О.А. (гл. 2) — Институт государства и права РАН, Хамаза А.А. (разд. 2.2, 3.1 и 4.7), Шарафутдинов Р.Б. НТЦ ЯРБ Ростехнадзора (разд. 3.1–3.3 и 5.4, Приложение 1).

**Проблемы ядерного наследия и пути их решения.** Развитие системы обращения с радиоактивными отходами в России. — Под общей редакцией Большова Л.А., Лаврова Н.П., Линге И.И. — Москва: 2013. — 392 с. — Т.2.

Вниманию читателя предлагается второй том трехтомной монографии «Проблемы ядерного наследия и пути их решения». В первом томе рассмотрены вопросы формирования проблем ядерного наследия как в оборонной, так и в мирной области, даны оценки масштаба этих проблем, намечены пути их поэтапного решения и механизмы, исключающие их воспроизведение в будущем.

Второй том посвящен детальному рассмотрению проблем обращения с радиоактивными отходами. Читатель найдет здесь значимый фактографический материал по сравнению рисков, связанных с радиоактивными отходами и обычными отходами производства и потребления, и лучших мировых практик обращения с РАО.

Материалы монографии дают возможность понять процесс поиска решений по стратегическим направлениям развития в данной области и соотнести с реальными сдвигами, произошедшими в течение последнего десятилетия. Эти сдвиги можно характеризовать как значимый прогресс. Примеры этого прогресса связаны и с реализацией федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года», и с сотрудничеством в рамках Глобального партнерства, и с реализацией программ организаций атомной отрасли. Второй составляющей прогресса является создание Единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами, регламентированной соответствующим законом.

Книга адресована ученым и специалистам атомной науки и промышленности, а также более широкому кругу читателей, интересующихся вопросами безопасного решения проблем ядерного наследия.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<i>Литература</i> .....	9
<b>ГЛАВА 1. Отходы производства как фактор риска для здоровья человека и экологической безопасности</b> .....	10
1.1. Загрязнение окружающей среды отходами производства и потребления .....	13
1.1.1. Формирование современного природоохранного законодательства в части химически вредных веществ .....	13
1.1.2. Вопросы окончательной изоляции отходов производства и потребления .....	26
1.2. Радиоактивные вещества и радиоактивные отходы как фактор риска .....	35
1.2.1. Радиационное нормирование .....	35
1.2.2. Выбросы и сбросы радионуклидов .....	46
1.2.3. Снятие с регулирующего контроля веществ в твердой форме .....	59
1.2.4. Радиоактивные отходы как фактор риска .....	61
1.3. Формирование системы обеспечения безопасности обращения с РАО в России .....	64
1.3.1. Развитие систем безопасности в атомной отрасли .....	64
1.3.2. Развитие системы учета радиоактивных отходов .....	70
<i>Заключение</i> .....	74
<i>Литература</i> .....	76
<b>ГЛАВА 2. Передовые практики и одобренные на международном уровне критерии и нормы</b> .....	79
2.1. Вопросы обращения с РАО в документах МАГАТЭ .....	80
2.2. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами .....	85
2.3. Лучшие мировые практики обращения с РАО .....	87
2.3.1. Очень низкоактивные отходы .....	87
2.3.2. Низкоактивные отходы .....	91
2.3.3. Среднеактивные отходы .....	95
2.3.4. Отходы высокой активности .....	101
2.3.5. Классификация РАО для целей захоронения .....	106
<i>Заключение</i> .....	111
<i>Литература</i> .....	112
<b>ГЛАВА 3. Выработка стратегии решения накопленных проблем в области обращения с РАО</b> .....	113
3.1. Ратификация Объединенной конвенции .....	117
3.2. Определение путей развития системы обращения с РАО .....	124
3.3. Формирование основных положений проекта федерального закона по обращению с радиоактивными отходами .....	130
3.4. Концепция ускоренного формирования единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами .....	143
3.5. Проблемы трансформации системы обращения с РАО в организациях и стране в целом ..	146
3.6. Организация по захоронению РАО .....	150
<i>Заключение</i> .....	152
<i>Литература</i> .....	153
<b>ГЛАВА 4. Реализация программных мероприятий по решению проблемы накопленных РАО</b> .....	155
4.1. Реализация ФЦП ЯРБ .....	157
4.1.1. Реализация мероприятий ФЦП по смежным направлениям деятельности (ОЯТ и ВЭ) .....	162

## ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

4.1.2. Реализация мероприятий ФЦП по повышению безопасности ядерно и радиационно опасных объектов .....	172
4.1.3. Реализация мероприятий ФЦП по созданию объектов обращения с РАО .....	176
4.2. Консервация приповерхностных хранилищ ЖРО .....	181
4.3. Теченский каскад водоемов .....	185
4.4. Методология разработки долгосрочных программ и стратегических планов .....	193
4.5. Программа глобального партнерства .....	202
4.6. Затопленные в морях Арктики РАО .....	208
4.7. Проработка планов на 2016–2025 годы .....	210
<i>Заключение</i> .....	215
<i>Литература</i> .....	219
<b>ГЛАВА 5. Создание ЕГС РАО</b> .....	221
5.1. Ускорение процессов изменения системы обращения с РАО .....	221
5.2. Национальный оператор по обращению с РАО и его инвестиционная программа .....	227
5.3. Координация работ по созданию мощностей переработки РАО .....	234
5.4. Первичная регистрация и рациональное разделение накопленных РАО на удаляемые особые .....	242
5.5. Обеспечение гибкости создаваемой системы и ее адаптации к изменениям во внешней среде и накоплению правоприменительного опыта .....	251
<i>Заключение</i> .....	260
<i>Литература</i> .....	262
<b>ГЛАВА 6. Рост эффективности функционирования ЕГС РАО за счет рынка услуг</b> .....	263
6.1. Услуги по сбору РАО .....	263
6.2. Рынок технологий и услуг по переработке РАО .....	264
6.3. Упаковки РАО и транспортирование РАО .....	274
6.4. ИТ-решения .....	277
<i>Заключение</i> .....	286
<i>Литература</i> .....	286
<b>ГЛАВА 7. Безопасность захоронения РАО</b> .....	287
7.1. Необходимость эволюции отечественных подходов к обоснованию безопасности пунктов захоронения РАО .....	288
7.2. Расчетные методы обоснования безопасности .....	293
7.2.1. Корректный учет параметров вмещающей среды .....	294
7.2.2. Неклассические процессы переноса примеси в геологических средах .....	298
7.2.3. Современное состояние и рекомендации по развитию методов обоснования безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов .....	302
7.3. Актуальные задачи обоснования безопасности пунктов захоронения РАО в Российской Федерации .....	304
7.3.1. Создание пункта захоронения НАО и САО на Северо-Западе .....	305
7.3.2. Обоснование безопасности действующих полигонов закачки ЖРО .....	310
7.4. Методология обеспечения безопасности захоронения РАО для крупномасштабной ядерной энергетики .....	319
<i>Заключение</i> .....	323
<i>Литература</i> .....	323
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	327
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Требования ОСПОРБ-99/2010 в части обращения с РАО: риски для обеспечения ядерной и радиационной безопасности и техническая невыполнимость</b> .....	333
<i>Литература</i> .....	355
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. (Досье 2005). Исследования агентства Andra по геологическому захоронению долгоживущих высокоактивных отходов. Результаты и перспективы</b> .....	356



## ВВЕДЕНИЕ

Долгие годы ядерный оружейный комплекс и атомная энергетическая промышленность страны развивались в режиме незавершенных жизненных циклов по радиоактивным отходам, отработавшему топливу и выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Масштаб накопленных в этой области проблем достаточно полно охарактеризован в первом томе издания [1]. Тем не менее, кратко напомним сложившуюся ситуацию. Обращение с РАО по принципу откладывания проблем, связанных с их переработкой и захоронением, сохранялось вплоть до последнего времени. Отсутствие правовых требований по захоронению накопленных и вновь образующихся РАО, необходимой инфраструктуры, отсутствие значимых стимулов к снижению образования РАО привели к тому, что подавляющая часть накопленных отходов хранится в местах их образования. Среди большого количества хранилищ РАО такие объекты, как поверхностные водоемы-хранилища жидких радиоактивных отходов. Всего накоплено, главным образом в результате оборонной деятельности, более 500 млн тонн РАО. Уникальная практика закачки жидких отходов позволила избежать формирования на применяющих эту технологию предприятиях проблем, схожих по масштабу с проблемами ФГУП «ПО «Маяк», но не предотвратила накопления большого количества ЖРО на других предприятиях.

Многими сложившаяся ситуация оценивается как катастрофическая. Сразу отметим, что эта точка зрения сегодня является сильно преувеличенной. Несмотря на масштаб проблем, безопасность всего накопленного РАО обеспечивается достаточно надежно, как минимум на приемлемом уровне. В настоящее время ни в одном из случаев не идет речь о негативном воздействии на человека – только о восстановлении и реабилитации территории в связи с прошлым загрязнением. Наиболее сложные объекты надежно контролируются. Уместно привести пример ФГУП «ПО «Маяк» – некоторые объекты первого предприятия атомной отрасли страны являются не только одними из наиболее насыщенными РАО в России, а иногда – и в мире, но также и наиболее изученными и интенсивно контролируруемыми. И по озеру Карачай [2], и по Теченскому каскаду водоемов [3] существует принципиальная совокупность знаний, которая позволяет говорить о практически полном понимании закономерностей протекания процессов, определяющих степень опасности накопленных РАО. Аналогичные по детальности оценки имеются и по ранней фазе работы предприятия, когда негативное воздействие радиации оказывало реальное влияние на здоровье населения [4].

Таким образом, несмотря на ряд крупных издержек, связанных с первыми десятилетиями развития атомной оборонной промышленности, существовавшая система обращения с РАО в Российской Федерации в целом обеспечивала безопасность персонала, населения и окружающей среды, но являлась неоправданно затратной и зачастую ориентированной на перекладывание бремени на последующие поколения. Она остро нуждалась в модернизации и развитии.

Тема модернизации и развития системы обращения с РАО в Российской Федерации является центральной в данном томе монографии. В рамках тома детально проанализированы вопросы трансформации системы обращения с вновь образующимися РАО и развития работ по РАО наследия. Анализ проведен не столько с технологической точки зрения, по этим вопросам имеется достаточно много научно-технической литературы, сколько с позиций системного анализа, который должен дать импульс для развития отдельных технологий или рассмотрения целесообразности применяемых. Подобный анализ должен начинаться с определения реальной роли РАО в более общей проблеме влияния отходов производства и потребления на здоровье человека и окружающую среду, включать рассмотрение и прогнозирование идущих процессов трансформации системы обращения с РАО в России и завершаться определением приоритетных направлений и задач.

В этой связи в качестве первого тезиса, детально развернутого в данной монографии, определен следующий. Радиоактивные отходы — это один из специфически выделенных видов промышленных отходов, в отношении бесконтрольного накопления которых в объектах окружающей среды и в нашей стране и в мире был реализован упреждающий комплекс защитных мер. Этот комплекс мер позволил в принципе снять вопрос о наличии глобальных или региональных экологических проблем, связанных с размещением РАО. Этой теме посвящена первая глава монографии. Здесь только кратко отметим несколько признаков этой специфичности выделения радиоактивных отходов из всех видов отходов производства и потребления. Во-первых, это общественное восприятие связанных с ними рисков. Общество готово мириться с любыми видами отходов, острые проблемы возникают только на локальном уровне при организации захоронения отходов. В отношении радиоактивных и, тем более, ядерных отходов общественное беспокойство зачастую принимает национальный масштаб. Во-вторых, впервые отходы привязываются к виду деятельности — использованию атомной энергии. В отношении других новых отраслей и производств подобного практически не происходит, хотя и могло бы. Например, в отношении отходов космической деятельности.

Во второй главе кратко описан зарубежный опыт создания систем обращения с РАО, в том числе рассмотрены основные вопросы, которые регулируются Объединенной конвенцией о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, а также основные обязательства и процедуры контроля их выполнения. В отдельном разделе представлен обзор документов МАГАТЭ по обращению с РАО. При анализе национальных практик отмечены два обстоятельства.

Существует две принципиально разные ситуации. Это практика ядерных стран, реализовавших крупные оборонные программы (США, Франция, Великобритания и Россия). Понимание значимости завершающих стадий ядерного топливного цикла, а также выход на конкретные решения по вопросам обращения с РАО в США, Франции и Великобритании произошли раньше, чем в России. По коммерческим РАО в них изначально были задействованы правовые инструменты, а по накопленным оборонным — государственные программы. Первая и наиболее масштабная в мире экологическая программа по ядерному наследию стартовала в США в 1989 г. [5]. В рамках этой программы Управлению по охране окружающей среды необходимо было принять решения по переводу в безопасное состояние жидких и твердых РАО, ОЯТ, ядерных материалов и установок, участков загрязненной почвы и грунтовых вод в 14 штатах на территории площадью более чем 8 тыс. км<sup>2</sup>, а также вывести из эксплуатации более чем

4500 установок. Вторую практику реализуют страны, в которых полноценные системы по завершающим стадиям жизненного цикла, в том числе по обращению с РАО, начали планироваться и создаваться одновременно с развитием атомной энергетики (Швеция, Канада, Испания и др.) [6]. В этих странах удалось полностью избежать значимых проблем в виде накопленных РАО. Страны Восточной Европы, которые ранее ориентировались на применяемые в СССР подходы, также достаточно быстро стали проектировать и реализовывать свои собственные программы по ОЯТ и РАО.

Системы обращения с радиоактивными отходами низкой активности развиваются более высокими темпами. В результате в большинстве стран накоплен более чем 20-летний опыт их безопасного захоронения. В отношении высокоактивных и долгоживущих отходов реализуются долгосрочные программы, характерный текущий этап которых – обоснование безопасности национальных пунктов захоронения.

В третьей главе рассмотрены процессы выработки стратегии решения накопленных проблем в области обращения с РАО, происходившие в период 2005–2011 гг. Причем под накопленными проблемами понимаются не только физические объемы накопленных радиоактивных отходов, но и существовавшая до недавнего времени система обращения с РАО в Российской Федерации. Напомним еще раз – на уровне государства и специалистов существовала абсолютная убежденность в возможности решения этих проблем в условиях плановой экономики. Всего лишь 20 лет тому назад этот подход формулировался следующим образом: «Технические проблемы обычно решаются тогда, когда возникает в этом реальная необходимость. Именно поэтому, а не в силу каких-либо непреодолимых трудностей, не решены сегодня еще полностью проблемы переработки и регенерации ядерного топлива, захоронения радиоактивных отходов и снятия с эксплуатации отработавших ресурс ядерных энергоблоков. Эти задачи станут действительно актуальными, по-видимому, к концу первого десятилетия следующего столетия, и к тому времени они должны быть решены» [7]. Относительно наиболее актуальных проблем конца первой декады XXI века этот прогноз абсолютно оправдался, однако оптимизм по поводу возможностей и скорости их решения был явно преувеличенным. За прошедшие после формулирования рассмотренного подхода почти два десятилетия многое изменилось. Расходы на обеспечение безопасности РАО постоянно возрастали. Эксплуатирующим организациям, придерживающимся традиционной и не имеющей ясных перспектив практики в области обращения с РАО, приходилось, главным образом за счет собственных средств, постоянно принимать меры по безопасному хранению как ранее накопленных, так и вновь образующихся РАО. Ужесточение требований по безопасности инициировало создание «сверхтяжелых» объектов инфраструктуры для размещения вновь образующихся отходов, которые, с одной стороны, обладали высокими показателями безопасности, но, с другой стороны, не решали проблему полностью.

В силу ряда исторических причин в Российской Федерации перелом произошел в 2005–2007 гг. Практически одновременно, в конце 2005 года, Российской Федерацией была ратифицирована Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. Началось резкое ускорение работ и по развитию атомной энергетики, и по принятию практических мер по ликвидации ядерного наследия. В течение 2006–2007 гг. была разработана и утверждена федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». В ходе подготовки данной ФЦП мы в полной мере оценили масштаб накопленных проблем и отсутствие готовых решений по конкретным объектам [1]. Старт работ по ядер-

ному наследию актуализировал задачу формирования новых правовых механизмов, создающих достаточную регулируемую основу для организации и выполнения необходимых работ. В 2007 году были начаты дискуссии по вопросу, с чего начинать. Ведь требовалось создать такую основу для решения сразу трех задач ядерного наследия: обращение с РАО, ОЯТ и вывод из эксплуатации. Как результат – решение, отраженное в Плане мероприятий по выполнению второго этапа реализации «Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности России на период до 2010 года и дальнейшую перспективу», в соответствии с которым первоочередной задачей была определена разработка отдельного законопроекта «Об обращении с радиоактивными отходами». В этой же главе описана работа над формированием проекта федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами» и рассмотрены некоторые его ключевые положения. Закон впервые разделил две категории отходов – вновь образующиеся и накопленные до даты вступления закона в силу. Эта норма закона должна обеспечить разделение ответственности за конечную стадию обращения с РАО (включая финансовую) между хозяйствующими субъектами и государством. Это принципиальный момент, из-за которого принятие закона сильно затянулось. В отдельном разделе главы 3 представлен обзор утвержденной в начале 2010 года отраслевой Программы создания ЕГС РАО. Данную программу правильно было бы назвать программой опережающего развития, поскольку она предусматривала быстрое вступление в силу соответствующего закона и выход на практическое захоронение отходов низкой активности уже на рубеже 2015 года.

В четвертой главе кратко представлены некоторые результаты реализации государственных программ в области обращения с РАО. Несмотря на достаточно короткий срок, прошедший с начала реализации основной из них – ФЦП ЯРБ, промежуточные итоги реализации программы могут быть охарактеризованы как общие весьма оптимистичные. Тем не менее, необходимо четко представлять, что это только первые шаги на длинном пути в несколько десятилетий.

Глава 5 посвящена рассмотрению текущих вопросов создания ЕГС РАО. Ее содержание позволяет понять, что создание ЕГС РАО перешло из этапа теоретической проработки в этап практической реализации. Особенности этой реализации определяются уже не только положениями нового закона, но и большим количеством новых подзаконных актов, которые также кратко рассматриваются и комментируются. Управление ЕГС РАО возложено на Госкорпорацию «Росатом». В ее полномочия входит определение прогнозов образования и сроков промежуточного хранения РАО для организаций, эксплуатирующих особо радиационно и ядерно опасные производства и объекты, одобрение тарифов на услуги Национального оператора и контроль за его деятельностью.

Национальный оператор – ФГУП «НО РАО» – стал единственной организацией, ответственной за захоронение РАО. С учетом срока потенциальной опасности отходов это гарантирует обеспечение безопасности пунктов захоронения РАО на длительном отрезке времени. Услуги по кондиционированию, транспортированию и хранению РАО смогут оказывать специализированные организации.

Сегодня уже конкретно и детально рассматривается вопрос качества функционирования ЕГС РАО. Оно во многом будет определяться уровнем компетенций Национального оператора и эффективности координирующей деятельности органа управления.

В шестой главе очень кратко рассмотрен потенциал рыночных услуг в области обращения с РАО. Содержание главы позволяет прогнозировать, что этот ключевой



для практики аспект получит самостоятельное и быстрое развитие после реального включения финансовых механизмов и определения критериев приемлемости. Они сформируют и рыночный спрос на работоспособные технологии и услуги в областях сбора, характеристики, переработки, кондиционирования, транспортирования РАО и информационного обеспечения деятельности.

В завершающей, седьмой главе рассмотрены вопросы безопасности захоронения РАО, в том числе вопросы методологии обоснования безопасности пунктов захоронения РАО и практические вопросы создания соответствующего инструментария обоснования. Сегодня отсутствие современной методологической базы, ориентированной на всестороннее обоснование безопасности ПЗРО и пунктов консервации, а также убеждение в этом всех заинтересованных сторон видится отдельной проблемой. Большинство отечественных работ по оценке и обоснованию безопасности опирается на представления, сложившиеся в 1990-е гг. Зарубежный опыт и рекомендации международных организаций, таких как МАГАТЭ, не всегда находят практическое применение, что затрудняет взаимопонимание на международном уровне и не способствует повышению доверия к результатам, полученным отечественными специалистами.

Каждый из разделов тома завершается выводами по разделу, а в заключении сформулированы наиболее значимые в целом.

В приложениях представлены материалы по двум темам. Первый материал посвящен анализу требований ОСПОРБ 99/2010 в части обращения с РАО. Рассмотрение находящегося в стадии переработки документа связано с тем, что дискуссии вокруг него оказали определенное влияние на содержание федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Процедура принятия критериев отнесения к РАО была изменена, что сказалось и на содержании уже принятых критериев, в том числе отнесения отходов к РАО и к особым РАО.

Второй материал представляет собой перевод документа французского оператора по захоронению (агентство Andra), известного как Досье-2005. Этот практически популярного характера документ позволяет оценить диапазон, детальность и публичность исследований по обоснованию безопасности геологического могильника.

## Литература

1. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. – Под общей редакцией Е.В. Евстратова, А.М. Агапова, Н.П. Лаверова, Л.А. Большова, И.И. Линге. – 2010 г. – 373 с. – Т. 1.
2. Алексахин А.И., Глаголев А.В., Дрожко Е.Г., Зинин А.И., Зинина Г.А., Иванов И.А., Мокров Ю.Г., Орлова Е.И., Самсонов Б.Г., Самсонова Л.М., Стукалов П.М. Водоем-9 – хранилище жидких радиоактивных отходов и воздействие его на геологическую среду. – Под ред. Дрожко Е.Г., Самсонова Б.Г. – М., 2007, 250 с.
3. Баранов С.В., Баторшин Г.Ш., Мокров Ю.Г., Глинский М.Л., Дрожко Е.Г., Линге И.И., Уткин С.С. Теченский каскад водоемов ФГУП «ПО «Маяк»: текущее состояние и перспективы // Вопросы радиационной безопасности, №1, 2011. С. 5–15.
4. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. Под ред. Л.А. Ильина, В.А. Губанова. М.: ИздАт, 2000, 751 с.
5. Szilagyí A and Yvette Collazo. The United States Department of Energy, Office of Environmental Management // Progress and Challenges in Environmental Remediation and Decommissioning. In Proc. of Intern. Conf. «Decommissioning challenges: Industrial Reality», 28 September – 02 October 2008, Avignon, France. CD ROM.
6. Анализ зарубежного опыта финансирования работ по долгосрочному обращению с ОЯТ, РАО и выводу ядерно и радиационно опасных объектов из эксплуатации / Л.А. Большов, И.Л. Абалкина, А.А. Ерома, С.В. Казаков, И.И. Линге, А.Б. Малышев, А.М. Агапов. – (Препринт / Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН, № ИВРАЕ-2006-10). – М.: ИБРАЭ РАН, 2006. – 29 с.
7. Ядерная энергетика. Проблемы и перспективы. Экспертные оценки. Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова. Москва, 1989 г. – 489 с.

## ГЛАВА 1

### Отходы производства как фактор риска для здоровья человека и экологической безопасности

Прежде чем переходить к основной теме монографии, целесообразно рассмотреть место радиоактивных отходов в общей проблеме отходов производства как фактора риска для здоровья населения и угроз для окружающей среды. По проблеме радиоактивных отходов, включая отработавшее ядерное топливо, вполне уместно рассмотрение двух взглядов, исходящих, условно говоря, из сферы науки и из сферы ядерной деятельности. Еще в 1975 году на торжественном собрании, посвященном 250-летию Российской академии наук, лауреат Нобелевской премии П.Л. Капица в своем выступлении отметил три главные проблемы мировой ядерной энергетики:

- проблема обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами (РАО);
- проблема безопасности АЭС;
- неконтролируемое распространение ядерного оружия.

Схожим по духу было и недавнее выступление генерального директора МАГАТЭ Юкия Аmano (сентябрь 2012 года, открытие сессии генеральной конференции МАГАТЭ), в котором он особо подчеркнул, что проблема ОЯТ сегодня «важна как никогда». Общая констатация проблемы была сформулирована следующим образом: «Ежегодно в мире образуется 10 тыс. тонн ОЯТ и миллионы кубических метров РАО. Без решения данной проблемы невозможно развитие атомной энергетики ни в одной стране мира, а значит и дальнейшее движение научно-технического прогресса».

Несмотря на масштаб накопленных в этой области проблем, в том числе рассмотренных в первом томе издания [1], среди специалистов-атомщиков имело место тоже давнее, но более умеренное отношение к этим проблемам, если говорить о перспективах их решения в будущем. Напомним еще раз — на уровне государства и специалистов существовала абсолютная убежденность в возможности решения этих проблем в условиях плановой экономики. Всего лишь 20 лет тому назад этот подход формулировался следующим образом: «Технические проблемы обычно решаются тогда, когда возникает в этом реальная необходимость. Именно поэтому, а не в силу каких-либо непреодолимых трудностей, не решены сегодня еще полностью проблемы переработки и регенерации ядерного топлива, захоронения радиоактивных отходов и снятия с эксплуатации отработавших ресурсов ядерных энергоблоков. Эти задачи станут действительно актуальными, по-видимому, к концу первого десятилетия следующего столетия, и к тому времени они должны быть решены» [2]. Относительно наиболее актуальных проблем конца первого десятилетия XXI века этот прогноз абсолютно оправдался, однако оптимизм по поводу возможностей и скорости их решения оказался явно преувеличенным.

Таким образом, актуальность решения проблем ядерного наследия в части обращения с ОЯТ и РАО и создания современных и эффективных систем обращения очевидна для специалистов. Еще большее внимание ее решению уделяется общественностью. Может быть, точнее будет сформулировать так: все вопросы обращения с

ядерными и радиоактивными отходами более остро воспринимаются и более критично оцениваются общественностью.

Такое отношение общественности связано с некоторыми фундаментальными особенностями восприятия радиационных рисков в целом и опасностей, связанных с радиоактивными отходами, в частности. Зачастую в разрезе общественного мнения позиция по этому вопросу формулируется радикальным образом: само появление ядерных и радиоактивных отходов — это угроза существования жизни на Земле. Данное обстоятельство должно учитываться специалистами в области обращения с РАО, поскольку неадекватная (с любой стороны) оценка масштабов и уровней рисков, связанных с РАО, может стать непреодолимым препятствием и при решении таких сложных вопросов, как размещение пункта захоронения, и при проведении таких рутинных операций, как транспортирование РАО.

Отходы любого производства имеют три варианта поступления за пределы технологического оборудования (рис. 1.1.1). Большие объемы, но при этом малые концентрации вредных примесей в газах и жидкостях — это выбросы и сбросы предприятий, а высокие концентрации и малые объемы — это отходы, подлежащие изоляции от биосферы, то есть захоронению. Понятия «высокие» и «низкие» концентрации в данном случае применяются условно. Понятие рецикла отходов мы в данном случае не упоминаем, несмотря на важность и актуальность деятельности в этом направлении, поскольку для нас принципиально, что некоторая часть отходов все равно останется.

Рассмотренные три варианта поступления — выбросы, сбросы и отходы — означают следующие возможности воздействия на человека и окружающую среду. В идеальном случае воздействие выбросов и сбросов минимизируется путем ограничения их величины и состава, а также установления многих других дополнительных ограничений в форме предельных концентраций в различных средах. В том же идеальном случае воздействие отходов должно быть практически полностью исключено посредством установления определенных требований к обращению и захоронению. Эти идеальные решения до настоящего времени в полной мере не реализованы ни в одной из стран.

Система, направленная на снижение рисков, связанных с поступлением вредных веществ в окружающую среду, развивается на основе различных подходов. Примени-

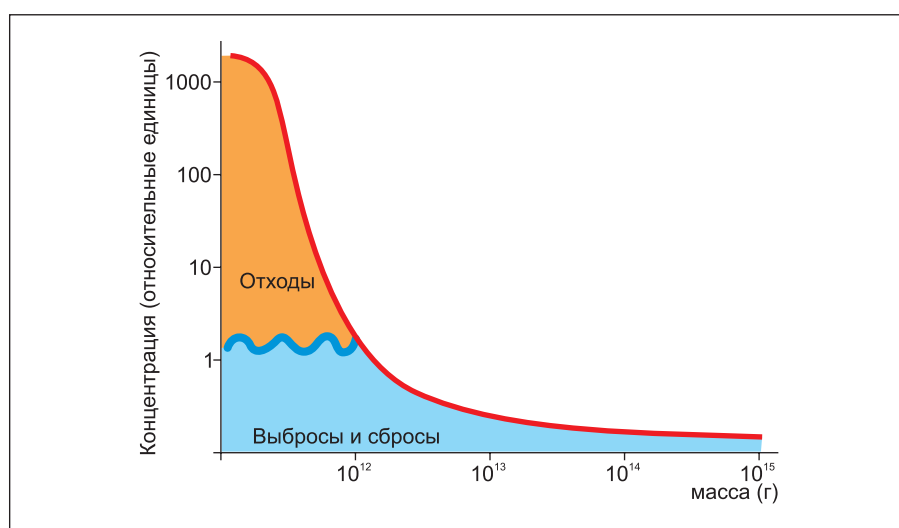


Рис. 1.1.1. Основные пути поступления радиоактивных веществ в окружающую среду и их распределение по объемам и удельным концентрациям

тельно к выбросам и сбросам создается многобарьерная система ограничений — на источник, параметры среды обитания и выпускаемую продукцию. Применительно к отходам — система требований по их обезвреживанию и захоронению.

Развитие системы происходит в отношении требований к химически вредным веществам и в еще большей степени в отношении именно радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. Среди причин последнего следует назвать и предшествующий исторический задел, наработанный в области обращения с общепромышленными отходами, и определенную «элитарность» деятельности в области использования атомной энергии, и некоторую увлеченность регулированием именно радиационных факторов. В частности, элитарность обусловлена тем, что количество организаций, вовлеченных в деятельность в области атомной энергии, относительно невелико, а международная кооперация в сфере безопасности беспрецедентна. В свою очередь увлеченность имеет в качестве своих истоков техническую возможность контроля и выраженное стремление значительной части общества к его осуществлению.

Какие доводы можно привести в пользу рационального отношения к вопросам генерации отходов и поступления радиоактивных веществ в окружающую среду при осуществлении деятельности, связанной с использованием атомной энергии? Таких доводов много, поэтому остановимся на наиболее существенных, проведя сравнение с химически вредными веществами по ряду позиций. В силу общности происхождения будем рассматривать все пути поступления радиоактивных и химически вредных веществ в окружающую среду — и в форме сбросов и выбросов, и в форме хранимых и подлежащих захоронению отходов.

В отношении выбросов и сбросов радиоактивных веществ, обращения с радиоактивными и ядерными отходами в подавляющем большинстве случаев в прошлом и во всех случаях в настоящее время реализуется комплекс упреждающих защитных мер. В отношении химически вредных веществ системы охраны здоровья человека и окружающей среды создавались в силу вынужденных обстоятельств, продиктованных уже сложившейся угрозой, и в настоящее время развиваются также с определенным запаздыванием. Это происходит, например, в связи с необходимостью идентификации риска, связанного с тем или иным новым вредным веществом, и установления его величины.

Все характеристики техногенных и природных радионуклидов, в том числе необходимые для оценки вреда здоровью человека, давно и хорошо изучены. Что касается химически вредных веществ и новых биологических веществ, то их перечень постоянно и интенсивно пополняется, и требуются все новые исследования о воздействии на здоровье.

Коренным образом отличаются возможности инструментального контроля содержания радиоактивных веществ и химически вредных веществ. Если в отношении радиоактивных веществ контроль возможен на уровнях в тысячи и десятки тысяч раз меньших малоопасных значений (например, предельных концентраций или годового поступления), то в отношении большинства химически вредных веществ возможности контроля ограничены уровнями предельно допустимых концентраций и кратных им величин.

Проблема выбросов и сбросов является гораздо более масштабной и значимой, чем проблема обращения с отходами. Это в равной мере справедливо как в отношении химических веществ, так и в отношении радиоактивных. Если риски, связанные с размещением отходов, носят преимущественно локальный характер, то в случае выбросов и сбросов мы имеем гораздо большие территории воздействия (город, ре-



гион, а в некоторых случаях, например, при выбросах парниковых газов или при испытаниях ядерного оружия в воздухе — планета в целом). Радиоактивных отходов образуется относительно немного и на весьма ограниченном количестве объектов. В отличие от тепловой энергетики, где отходы регулярно образуются в огромных количествах, в атомной энергетике подавляющая часть остаточной радиоактивности сосредоточена в отработавшем ядерном топливе. Выбросы и сбросы радиоактивных веществ строго регламентируются уже на стадии проектирования, в том числе во всей своей совокупности по объекту. В свою очередь источники поступления химически вредных веществ широко распространены, многочисленны и разнообразны, и в силу этого регламентация общего выброса химически вредных веществ имеет принципиальные сложности.

Радиоактивные отходы различаются по периоду потенциальной опасности, что связано с их радиоактивным распадом. Часть из них являются короткоживущими и, в отличие от многих токсичных отходов, имеют ограниченный срок потенциальной опасности. Основное внимание в плане обеспечения долгосрочной безопасности требуют высоко- и среднеактивные долгоживущие РАО. Но их физические объемы, если сравнивать с отходами, содержащими устойчивые химические соединения, малы.

Наконец, принципиально различаются воздействия на биосферу. Негативные последствия для объектов окружающей среды (угнетение объектов живой природы вплоть до образования техногенных пустынь), связанные с загрязнением химически вредными веществами — массовое явление, наблюдавшееся в большинстве стран как результат работы тех или иных производств (рис. 1.1.2). Случаи гибели объектов биосферы из-за радиационного фактора имели место только в Чернобыле, будучи разовым следствием тяжелой аварии в непосредственной близости от ее эпицентра (рис. 1.1.3).

Рассмотрим далее, каковы масштабы поступления в окружающую среду химических и радиоактивных веществ, и как происходило развитие регулирующих подходов в этой области в промышленно развитых странах.

## 1.1. Загрязнение окружающей среды отходами производства и потребления

### 1.1.1. Формирование современного природоохранного законодательства в части химически вредных веществ

Загрязнение окружающей среды в современном его понимании связано с появлением крупных фабрик и сжиганием больших количеств органического топлива. К концу XIX века загрязнение воздуха в промышленных центрах стало достаточно



Рис. 1.1.2. Техногенная пустыня вблизи Курской магнитной аномалии.  
Фотография с сайта биолого-почвенного факультета  
Санкт-Петербургского государственного университета



Рис. 1.1.3. Лес около ЧАЭС: а — рыжий лес в 1986 году; б — современный лес

очевидной, то есть ощущаемой и осязаемой на бытовом уровне, проблемой, и тогда же были предприняты первые попытки ее решения. В 1881 году сразу в двух городах США — Чикаго и Цинциннати — принимаются законы, направленные на снижение загрязнения воздуха. Этому примеру вскоре последовали и другие города.

Однако на национальный уровень проблема загрязнения воздуха вышла только во второй половине XX века. К этому времени хозяйственная деятельность человека приобрела масштабы, соизмеримые с природными процессами (табл. 1.1.1). Добыча природных ресурсов, развитие промышленных производств, использование новых химических соединений и материалов привели к значительному росту поступления в окружающую среду загрязняющих веществ из антропогенных источников. Проблема загрязнения воздуха в крупных городах была особенно очевидной. Так, смог в Лондоне в 1952 г. привел к гибели нескольких тысяч человек и стал причиной принятия в Великобритании в 1956 г. закона о чистом воздухе.

Таблица 1.1.1

Природные и антропогенные поступления загрязняющих веществ в атмосферу [3]

Вещество	Природные источники, т	Антропогенные источники, т
O <sub>3</sub>	2·10 <sup>9</sup>	Незначительно
CO <sub>2</sub>	600·10 <sup>9</sup>	22·10 <sup>9</sup>
CO	38·10 <sup>8</sup>	5·10 <sup>8</sup>
SO <sub>2</sub>	2·10 <sup>7</sup>	15·10 <sup>7</sup>
Оксиды азота	845·10 <sup>6</sup>	57·10 <sup>6</sup>
Аэрозоли	(770–2200)·10 <sup>6</sup>	(960–2600)·10 <sup>6</sup>
CH <sub>4</sub>	160·10 <sup>7</sup>	11·10 <sup>7</sup>
Прочие	260·10 <sup>7</sup>	9·10 <sup>7</sup>
NH <sub>3</sub>	1200·10 <sup>6</sup>	7·10 <sup>6</sup>

Проблема загрязнения воды также имеет длинную историю. Борьба с эпидемиями была основной причиной принятия первых решений по контролю за санитарным состоянием вод, которые вводились в XIX веке в крупных городах, таких как Лондон, Париж и др. Размещение производств рядом с водными источниками и сброс неочищенных промышленных стоков в открытые водоемы долгое время были повсеместной практикой, а меры по снижению загрязнений принимались лишь эпизодически. В США, например, в 1899 г. был принят закон, который обязывал держать судоход-

ные пути свободными от каких-либо препятствий для навигации и заодно запрещал сброс в эти воды твердых отходов.

Как и в случае с загрязнением воздуха, решение вопросов загрязнения воды иницировалось, в основном, на локальном уровне. К примеру, в американском штате Пенсильвания первый закон о чистоте вод был принят в 1905 г., в 1923 г. там же был учрежден первый в стране государственный орган контроля за санитарным состоянием вод. После второй мировой войны промышленный бум, быстрое развитие новых производств, появление новых видов загрязнителей, например, пестицидов, привели к существенной деградации крупных рек и водных систем, таких как Великие озера в Северной Америке. В США большой резонанс имела публикация в 1969 г. в журнале «Таймс», которая была посвящена пожару на реке Кайахога в штате Огайо, вызванному наличием в реке масел и других воспламеняющихся веществ. Пожары на этой реке, впадающей в озеро Эри, регулярно случались с XIX века. Внимание к вопросам загрязнения воды, которое резко возросло в связи с публикацией, в итоге привело к принятию в 1972 г. на национальном уровне закона о чистой воде.

К 1970-м годам практически все промышленно развитые страны в той или иной мере испытывали комплекс экологических проблем, связанных с загрязнением воздуха, грунтовых и поверхностных вод, а также почв. Масштабы негативного воздействия на окружающую среду и здоровье обусловили принятие в последующие десятилетия многочисленных законодательных инициатив в области охраны окружающей среды, а также мер регулирования и контроля как на национальном, так и на международном уровне.

Формирование природоохранного законодательства на национальном уровне осуществлялось как в целях установления общих принципов регулирования хозяйственной деятельности, так и для охраны отдельных природных ресурсов и сред (воздуха, воды, лесных ресурсов, морской среды и др.). Принцип «загрязнитель платит», обязательность проведения оценки воздействия на окружающую среду при планировании хозяйственной деятельности, механизм экологической экспертизы, лицензирование потенциально опасных видов деятельности, нормирование выбросов и сбросов повсеместно стали неотъемлемой частью законодательно установленного режима природопользования. Развитию законодательства в области контроля за опасными химическими веществами и расширению сферы его применения в значительной степени способствовали исследования в области их воздействия на здоровье человека. Примером широкого применения новых химических соединений без должного изучения их опасных свойств стали пестициды. Наиболее известный из них, ДДТ, использовался в мире с 1940-х годов, однако уже в конце 1950-х в США стали вводиться первые ограничения на его применение вплоть до полного запрета в 1972 году. Такие соединения отличались не только высокой токсичностью, но и устойчивостью, их остаточные количества обнаруживались в окружающей среде, в продуктах питания, питьевой воде спустя десятилетия и по пищевым цепочкам поступали в организм человека.

Проведение токсикологических исследований, а также установление связи между воздействием химических веществ и заболеваемостью стало основой законодательного ограничения использования тех или иных веществ. Так, в США в 1960-е годы исследования показали связь между концентрацией асбеста в воздухе и легочными заболеваниями, что послужило основой для введения мер, регулирующих его использование. В 1970-е годы в развитых странах произошло значительное сокращение использования свинца, прежде всего в лакокрасочных изделиях, а затем и в

бензине. В 1970–80-е годы быстрое развитие получает методология оценки риска, которая позволяет оценивать опасность, связанную с присутствием в окружающей среде различных химических загрязнителей, обладающих канцерогенными и токсическими свойствами. Оценка риска является инструментом, позволяющим дать количественную оценку ущерба, наносимого здоровью населения неблагоприятными факторами окружающей среды. Ущерб здоровью непосредственно выражается в дополнительной заболеваемости и смертности, связанной с воздействием определенных факторов. В натуральных показателях ущерб может быть выражен как число дополнительных случаев заболеваемости и смертности, а также как число лет жизни, потерянных в результате такой заболеваемости и смертности. Методология оценки риска позволяет количественно оценить фактический и потенциальный риск ущерба здоровью при различных сценариях. При этом возможна как комплексная оценка ущерба здоровья от воздействия определенных факторов, так и оценка вклада отдельных факторов.

Использование оценки риска при сравнении нескольких вариантов действий позволяет выбрать наиболее экономичный вариант из тех, которые предлагают одинаковый уровень снижения риска, или же выбрать вариант, который обеспечивает максимальное снижение риска при одинаковых затратах. Методология оценки риска быстро вошла в практику и стала широко применяться в качестве объективного инструмента для ранжирования рисков, выбора приоритетов в решении экологических проблем и реализации мер регулирования. Например, проведение оценки риска может быть обязательным требованием при осуществлении какой-либо деятельности, конкретные значения уровня риска могут быть определены в качестве допустимых или приемлемых и т. д. Методология оценки риска также позволяет выявить недостатки или пробелы при нормировании отдельных загрязнителей окружающей среды.

В настоящее время, по данным Службы химической информации США (Chemical Abstracts Service), в мире зарегистрировано более 50 млн химических соединений, и только меньшая их часть изучена на предмет влияния на здоровье человека. Из органических соединений техногенного происхождения исключительно высокую токсичность имеют полихлорированные диоксины, дибензофураны и бифенилы, хлорсодержащие пестициды, полиароматические углеводороды и другие, а из неорганических — тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий и др.). Поступая в окружающую среду и обладая высокой миграционной способностью, такие соединения обладают комплексным характером воздействия на живые организмы, вызывают мутагенный, тератогенный, канцерогенный эффекты. Примеры заболеваний, связанных с воздействием факторов окружающей среды, приведены в табл. 1.1.2. Из представленных данных видно, что негативное воздействие на здоровье обусловлено главным образом выбросами и сбросами загрязняющих веществ.

В ряде случаев вопросы загрязнения окружающей среды перешли национальные границы и стали носить глобальный характер. Примером совместных усилий мирового сообщества по ограничению выбросов в атмосферу стал Киотский протокол, принятый в 1997 г. в дополнение к Рамочной конвенции ООН об изменении климата. Его целью было ограничение совокупного выброса шести типов газов, вызывающих парниковый эффект.

Наряду с введением более жестких мер экологического регулирования и контроля в отношении текущей деятельности предприятий промышленно развитые страны постепенно переходили к решению проблемы «исторического» загрязнения окружа-



ющей среды, т. е. загрязнения, возникшего в результате хозяйственной деятельности, которая велась до принятия современного природоохранного законодательства. «Пустковым механизмом» для поиска законодательных решений этой проблемы часто становились факты обнаружения загрязнения на определенной территории, что затем широко освещалось в СМИ и требовало от властей принятия решительных действий.

Таблица 1.1.2

**Некоторые патологии,  
вызываемые вредными химическими веществами [4]**

Патология	Основные загрязнители
Болезни системы кровообращения	Загрязнение атмосферы: оксиды серы, оксиды азота, оксид углерода, сернистые соединения, пропилен, ртуть, свинец и др. Загрязнение питьевой воды: нитраты, хлориды, нитриты и др. Загрязнение пестицидами и ядохимикатами
Болезни нервной системы и органов чувств. Психические расстройства	Биогеохимические особенности: высокая минерализация почвы и воды, хром. Загрязнение атмосферы: оксиды серы, азота и углерода, хром, сероводород, диоксид кремния, ртуть и др.
Болезни органов дыхания	Загрязнение атмосферы: пыль, оксиды серы и азота, оксид углерода, сернистый ангидрид, фенол, аммиак, хлор, ртуть, пропилен, диоксид кремния и др. Хлорорганические и фосфорорганические пестициды
Болезни органов пищеварения	Загрязнение окружающей среды пестицидами и ядохимикатами. Загрязнение атмосферы и гидросферы: сероуглерод, сероводород, пыль, оксиды азота, хром, фенол, диоксид кремния, фтор и др.
Болезни крови и кроветворных органов	Загрязнение атмосферы: оксиды серы, азота, углерода, азотисто-водородная кислота, этилен, пропилен, сероводород. Нитриты и нитраты в питьевой воде. Загрязнение окружающей среды пестицидами и ядохимикатами
Патология беременности	Загрязнение атмосферы, загрязнение пестицидами и ядохимикатами и др.
Врожденные аномалии	Загрязнение атмосферы, загрязнение пестицидами и ядохимикатами
Новообразования рта, носоглотки, верхних дыхательных путей, трахеи, бронхов и др.	Загрязнение атмосферы

Примером могут служить Нидерланды, где проблема загрязнения земель была поднята в 1980 г. в связи с городом Леккеркерк, жители которого узнали, что 268 новых жилых домов построены на старой свалке опасных отходов. Общественная реакция была столь сильна, что спустя всего несколько недель парламент одобрил новый закон о конфискации домов, через 2 месяца были начаты работы по реабилитации территории, а всем жителям со временем выплачены компенсации. По запросу Министра здравоохранения и охраны окружающей среды местными властями были представлены списки мест, где могли быть размещены химические отходы (таких в 1980 г.

насчитывалось 3857), и намечены шаги, которые должны быть предприняты в отношении таких объектов. В 1983 г. парламентом был принят Временный закон об очистке почв (Temporary Soil Cleaning Act), послуживший основой дальнейшего развития законодательства в данной области.

В США таким «спусковым механизмом» стал объект Love Canal, расположенный вблизи Ниагарского водопада. Канал начали сооружать в конце XIX века, но так и не достроили, и заброшенный объект постепенно заполнялся водой. С 1920-х годов он стал использоваться в качестве городской мусорной свалки, а в годы войны там также размещались и отходы военных объектов. В 1942 г. химическая компания Hooker Chemical получила разрешение размещать в канале свои отходы. Канал был осушен и облицован глиной, отходы в нем захоранивались на глубине 5–7 м вплоть до 1953 г., после чего канал был засыпан землей и стал покрываться растительностью. Общий объем захороненных отходов составил 21 тыс. т. Несмотря на то, что о свалке было известно городским властям, прилегающая территория стала использоваться ими под жилищное строительство. При проведении строительных работ защитный слой глины был нарушен, что привело к утечкам вредных веществ. В середине 1970-х годов в пробах были выявлены опасные концентрации химических веществ, одновременно была отмечена повышенная частота выкидышей и врожденных пороков у детей. Обнародование этих фактов имело большой резонанс, и в 1978 г. территория была объявлена зоной национального бедствия, жители переселены.

Территории и объекты «исторического» загрязнения разнообразны и могут включать как старые свалки отходов, так и закрытые промышленные объекты, заброшенные шахты, рудники, а также территории действующих предприятий. Для большинства территорий «исторического» загрязнения характерно, что деятельность, которая там осуществлялась, велась в соответствии с требованиями своего времени. Соответственно, законодательство по вопросам реабилитации таких территорий должно было решить вопрос установления ответственности за загрязнение и распределение бремени соответствующих затрат.

Законы, посвященные вопросам ответственности за загрязнение окружающей среды, стали приниматься в промышленно развитых странах начиная с 1980-х годов. Как правило, фиксируются ключевые положения режима ответственности за загрязнение (обычно на основе принципа «загрязнитель платит»), механизм принятия и согласования решений (уполномоченные органы, процедуры идентификации объектов и определения их приоритетности, целевые критерии реабилитации, процедуры выбора реабилитационных мероприятий), а также другие вопросы (участие заинтересованных сторон, процедуры мониторинга, вопросы финансирования, информационное обеспечение и др.).

В США таким законом является принятый в 1980 г. Закон о действиях в отношении окружающей среды, компенсации и ответственности (CERCLA), более известный как Закон о Суперфонде. Он устанавливает нормы ответственности, в соответствии с которыми определяется круг лиц, несущих бремя финансовых расходов по реабилитации. К таким лицам относятся нынешние владельцы мест размещения опасных отходов, бывшие владельцы, в чьей собственности находилось это место на момент удаления отходов, производители и транспортировщики отходов. Во внимание не принимается, действовал ли ответчик добросовестно и с соблюдением всех правил того времени или же халатно.

Предусматривается также образование фонда (по названию которого стали именовать сам закон) для финансирования очистки на закрытых объектах, не относя-

щихся к федеральной собственности, с последующим взысканием средств с ответственных сторон. Закон о Суперфонде регулирует и объекты федерального подчинения, включая объекты Министерства обороны и Министерства энергетики, имеющие территории радиоактивного загрязнения, однако финансирование осуществляется из бюджетов соответствующих ведомств или за счет лиц, которые участвовали в загрязняющей деятельности.

Наиболее крупные объекты, представляющие опасность, заносятся в Национальный приоритетный список, при этом принимается в расчет ряд факторов, в том числе:

- численность населения, подверженного риску;
- потенциал опасности, представляемой находящимися там веществами;
- потенциал отравления подземных источников снабжения питьевой водой;
- потенциал прямого контакта с человеком;
- потенциал разрушения чувствительных экосистем;
- ущерб природным ресурсам, которые воздействуют на пищевую цепочку.

Процедура проведения очистных работ состоит из 4 стадий, включающих предварительную оценку объекта, его инспекцию, исследование потребностей в долгосрочной очистке и планирование/проведение долгосрочных очистных работ. После проведения реабилитации объект должен отвечать требованиям приемлемого риска. Требуется, чтобы по отношению ко всем местам утечек была проведена оценка риска, в которой рассматриваются риски заболевания раком и другие последствия для здоровья на протяжении жизни для различных сценариев. Сценарии могут включать такие события, как использование воды для питья из пробуренной около дома скважины или прикосновение руки к загрязненной почве. Приемлемый риск должен находиться в диапазоне  $10^{-6}$ – $10^{-4}$ .

В рамках Закона о Суперфонде реализуется самая масштабная в США программа по реабилитации объектов «исторического загрязнения». В Национальном приоритетном списке из более 1200 объектов в настоящее время насчитывается 76 объектов, имеющих радиоактивное загрязнение, хотя многие из них были включены в список прежде всего из-за наличия химического загрязнения. Свои мини-Суперфонды для очистки есть и в отдельных штатах. Кроме того, реализуются программы и в рамках отдельных ведомств. Так, Министерство обороны с 1984 г. осуществляет программу, нацеленную на обеспечение и координацию очистки от загрязнения на своих объектах, а также исследование возможного загрязнения тех объектов, которые принадлежали этому ведомству ранее. Министерство энергетики реализует программу, направленную на стабилизацию и контроль за урановыми хвостохранилищами для минимизации угроз здоровью, а также программу реабилитации ранее эксплуатировавшихся объектов. Суть последней заключается в том, что ряд объектов, которые были выведены из эксплуатации и реабилитированы, не отвечают современным стандартам либо загрязнение обнаружено на сопредельной с ними территории. В ходе анализа 500 таких объектов было установлено, что реабилитация требовалась на 46 из них.

Практика промышленно развитых стран демонстрирует использование широкого диапазона уровней и критериев реабилитации загрязненных территорий в зависимости от технических, экономических, социальных и экологических условий. Будущее использование земельного участка (объекта) — один из важнейших критериев, применяемых в мировой практике в отношении реабилитации загрязненных территорий. В соответствии с характером использования объекта может происходить уста-

новление более или менее жестких нормативов, ранжирование уровней очистки и реабилитационных мероприятий.

Отдельные страны по-разному подходят к использованию этого критерия: есть практика установления как общих, так и «пообъектных» уровней очистки [5]. Например, в Нидерландах для объектов нового загрязнения (имевшего место после 1987 г.) практикуется полная очистка, при которой сохраняется многофункциональность использования почв. Примером общих критериев является так называемый Голландский список, в котором представлены значения концентраций загрязняющих веществ в почве и грунтовых водах для принятия решений по реабилитации. Конечное использование земельного участка в Нидерландах принимается в расчет для объектов, загрязненных до 1987 г. и не содержащих загрязняющие вещества в мобильном состоянии. В Германии решение о способе проведения очистки и уровне, до которого она должна быть проведена, принимается для каждого отдельного объекта в зависимости от настоящего и будущего использования земельного участка. В Бельгии характер землепользования (сельскохозяйственное, жилое, рекреационное или промышленное использование) учитывается при определении уровня очистки земельного участка. В Великобритании в основе концепции реабилитации лежит идея пригодности для использования, т.е. реабилитация должна ориентироваться на то, как будет использоваться участок в дальнейшем. В Австрии и Дании более 90% питьевой воды обеспечивается за счет поверхностных вод, поэтому вопросам защиты водных источников отдается наиболее высокий приоритет при ранжировании мест загрязнения и их последующей реабилитации.

При большом разнообразии деталей в нормативно-правовых системах, существующих в разных странах, главные уроки и тенденции указывают на необходимость четко определенной, но гибкой системы стандартов, применимых к допустимому уровню загрязнения, а также технологий и технических методов соблюдения этих стандартов.

В этом отношении в последние годы наблюдался процесс эволюции от требований применять очень жесткие стандарты допустимого загрязнения и использовать подходы, направленные на устранение или попытку полной ликвидации загрязнения, до принятия более гибких стандартов с учетом будущего использования земель и оценки риска с применением практики локализации загрязнения и очистки на месте.

Это связано с двумя принципиальными обстоятельствами. Во-первых, число загрязненных мест практически во всех странах оказалось гораздо большим, чем первоначально было принято считать. В Нидерландах, например, к 2004 г. число мест потенциального загрязнения возросло с нескольких тысяч до 400 тыс., из них 26 тыс. нуждались в реабилитации. Во-вторых, затраты на проведение реабилитации в соответствии с жесткими стандартами оказывались чрезмерными, а реабилитация до состояния «зеленой лужайки» часто оказывалась не только неэффективной с точки зрения затрат на предотвращение риска, но и технически невыполнимой.

Общей практикой также является ведение централизованных реестров и баз данных загрязненных территорий и объектов. Такие реестры содержат подробную информацию по истории использования объекта, результатам его обследования, решениям государственных органов, результатам оценки риска, геологии, гидрологии, геохимии и др.

В вопросах охраны окружающей среды все промышленно развитые страны прошли стандартный путь. Каждая из них в силу особенностей своего индустриального развития, социальной жизни и политической культуры по-своему шла к осознанию и решению экологических проблем. Но логика действий при этом оказалась достаточ-



но общей: индустриальное развитие → осознание негативных последствий для окружающей среды → принятие законодательных и иных мер в целях сокращения загрязнения → модернизация вредных производств → развитие новых технологий и объектов инфраструктуры → реабилитация территорий «исторического» загрязнения.

Россия не является в этом смысле исключением. Как и остальные промышленно развитые страны, Россия прошла свой путь индустриализации, а также осознания необходимости комплексного решения экологических проблем. В России есть свои горячие точки — территории с высокими уровнями загрязнения окружающей среды. Это, как правило, города-заводы, т. е. города, крупные и не очень, в которых население проживает в зоне воздействия промышленных объектов. По мере расширения городов и застройки прилегающих территорий заводы оказывались в тесном соседстве с жилыми кварталами. Примером является Нижнетагильский металлургический комбинат, расположенный в центральной части города. Важно отметить и тот факт, что в советский период промышленные объекты зачастую вводились в эксплуатацию при недостроенных очистных сооружениях, что усугубляло воздействие на прилегающую территорию.

Как следствие слабости природоохранной политики того времени, отсутствия надежных технологий очистки в России есть целый ряд мест с чрезвычайно высоким антропогенным загрязнением окружающей среды, возникшем как результат многих лет эксплуатации опасных производств. Примером может служить город Карабаш Челябинской области, в котором расположен Карабашский медеплавильный комбинат. В радиусе 6 км от предприятия ПДК по вредным веществам в почве превышены по мышьяку в 1000 раз, по свинцу в 250 раз, по меди в 85 раз. В поселке Рудная Пристань в Приморском крае вся его территория и особенно центральная часть в радиусе 1 км от свинцово-плавильного завода загрязнена соединениями тяжелых металлов, прежде всего свинца, концентрации которого в почве достигают 30–120 ПДК.

Высоким сохраняется уровень загрязнения воздушной среды в городах. В городах с наибольшим уровнем загрязнения воздуха это обусловлено значительными концентрациями бенз(а)пирена, диоксида азота, взвешенных веществ и формальдегида. В крупнейших городах страны основным источником загрязнения атмосферы является автотранспорт.

Для последних лет характерно все нарастающее внимание к вопросам ограничения сбросов и выбросов загрязняющих веществ. Тем не менее, их объемы не имеют выраженной тенденции к сокращению, а коррелируют, в основном, с изменениями объемов производства. Рассмотрим некоторые данные по выбросам и сбросам химических веществ за последние годы [14] и покажем, какова в них доля атомной промышленности.

В общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников (табл. 1.1.3) атомная отрасль вклада практически не дает [15].

Крупнейшими источниками загрязнения атмосферного воздуха являются предприятия металлургического комплекса и электроэнергетики, работающей на органическом топливе, среди которых есть объекты, дающие весомый вклад в общероссийскую статистику. Например, основным источником загрязнения атмосферного воздуха является Заполярный филиал ОАО «ГМК «Норильский никель», на который приходится 10% всех выбросов от стационарных источников.

Значимый дополнительный вклад дают нестационарные источники. Объемы выбросов только от автомобильного транспорта оцениваются в 12732 тыс. т, что сравнимо с объемами выбросов от стационарных источников.

Таблица 1.1.3

**Объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух  
от стационарных источников по видам экономической деятельности, тыс. т**

Вид экономической деятельности	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
<b>Всего по Российской Федерации</b>	<b>20568,4</b>	<b>20636,9</b>	<b>20103,3</b>	<b>19021,2</b>	<b>19115,6</b>
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	129,3	118,2	124,8	127,5	136,6
Добыча полезных ископаемых	6027,1	6244,8	5567,2	5238,6	5200,3
Обрабатывающие производства	7167,9	7205,1	6829,4	6353,5	6431,0
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	4352,9	4206,0	4462,2	4140,7	4327,2
Транспорт и связь	2150,2	2211,1	2475,2	2605,9	2426,4
Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	59,1	55,2	67,9	89,9	108,0

Доля атомной отрасли в выбросах химических веществ промышленностью страны составляет порядка 0,4%. Так, в 2011 г. предприятиями Госкорпорации «Росатом» в атмосферный воздух было выброшено 64,4 тыс. т вредных химических веществ, что соответствует уровню 2010 г. В составе выбросов преобладают твердые вещества — 22,3 тыс. т, диоксид серы — 19,8 тыс. т и оксиды азота — 14,5 тыс. т. Процент улавливания отходящих загрязняющих веществ в среднем на предприятиях Госкорпорации составил 87,3%. На предприятиях отрасли учтено 12637 источников выбросов вредных химических веществ, в том числе с установленными нормативами предельно допустимых выбросов — 12417 источников (98,2 %).

Объемы сброса загрязненных сточных вод в водные объекты (табл. 1.1.4) в 2010 г. снизились по сравнению с 2009 г. и предшествующими годами по всем видам экономической деятельности, что также, по-видимому, связано с изменением объемов производства.

Таблица 1.1.4

**Объемы сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водоемы  
по видам экономической деятельности, млн м<sup>3</sup>**

Вид экономической деятельности	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство	1137,20	1039,23	1037,69	875,91	862,0
Добыча полезных ископаемых	963,60	1074,87	1083,86	1016,59	995,0
Обрабатывающие производства	3572,97	3295,31	3269,91	2732,80	2692,0
Производство и распределение электроэнергии, газа и воды	9256,59	9013,81	9059,89	8817,23	8684,0
Транспорт и связь	107,09	103,85	83,79	41,18	40,5
Предоставление прочих коммунальных, социальных и персональных услуг	1884,41	2111,98	2050,13	1887,42	1888,0

Атомная отрасль является крупным водопользователем, на ее долю приходится около 10,5% от ежегодного суммарного забора воды из природных объектов в Российской Федерации. Основными водопользователями являются атомные станции и предприятия ядерного топливного цикла. Так, в 2011 г. на предприятиях отрасли забор свежей воды из природных водных источников (поверхностных и подземных) составил 8066,0 млн м<sup>3</sup>, из них 7853,2 млн м<sup>3</sup> было использовано на производственные нужды, в том числе пресной воды технического качества — 2439,4 млн м<sup>3</sup>, питьевого качества — 73,1 млн м<sup>3</sup>, морской воды — 5330,4 млн м<sup>3</sup>, подземных (шахтных и карьерных) — 10,3 млн м<sup>3</sup>. Всего в производстве было использовано 35376,3 млн м<sup>3</sup> воды, из которых 27523,1 млн м<sup>3</sup> оборотной и повторно используемой воды. Экономия воды в отрасли за счет систем оборотного и повторного водоснабжения составила 77,8% (без учета морской воды — 91,6%), что заметно выше, чем в среднем в электроэнергетике страны (73%).

В структуре сброса сточных вод в открытую гидрографическую сеть преобладают нормативно чистые воды — 98,2% (7268,2 млн м<sup>3</sup>), доля нормативно очищенных составляет 0,8% (58,2 млн м<sup>3</sup>), загрязненных сточных вод — 1,0% (76,9 млн м<sup>3</sup>). По сравнению с 2010 г. сброс загрязненных вод увеличился на 4,1 млн м<sup>3</sup> (5,7%). Около 77% объема загрязненных вод поступило от ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», ОАО «Комбинат «ЭХП» и ФГУП ФНПЦ «ПО «Старт». Основными веществами, сбрасываемыми со сточными водами с превышением ПДК, являются нефтепродукты, азот аммонийный, отходы гальванического производства (тяжелые и цветные металлы), нитриты, марганец.

По речным бассейнам сброс загрязненных сточных вод был распределен следующим образом: в реки бассейна Черного и Азовского морей — 1,0 млн м<sup>3</sup>, Каспийского моря — 19,1 млн м<sup>3</sup>, Балтийского моря — 37,6 млн м<sup>3</sup>, Северного Ледовитого океана — 17,5 млн м<sup>3</sup>, Тихого океана — 1,7 млн м<sup>3</sup>.

На протяжении последнего десятилетия происходило неуклонное снижение объемов отведения загрязненных сточных вод (рис. 1.1.4). В 2011 г. по сравнению с 2000 г. сброс вод этой категории сократился в 3,4 раза.

Проблема сброса загрязненных сточных вод, характерная для большинства видов экономической деятельности, осуществляемой на территории России, остается не до конца решенной и в атомной отрасли. Причиной продолжающегося сброса загрязненных сточных вод является перегруженность и/или низкое техническое состояние очистных сооружений отдельных организаций. Вместе с тем, на предприятиях Госкорпорации «Росатом» ситуация складывается лучше, чем в других отраслях народного хозяйства. Если в целом по стране до нормативного состояния очищается 11,0% объема сточных вод, нуждающихся в очистке, то в атомной отрасли этот показатель в 2011 г. составил 43%. Объемы сброса загрязненных сточных вод в отрасли малы на фоне других отраслей хозяйства, а предотвращение сброса

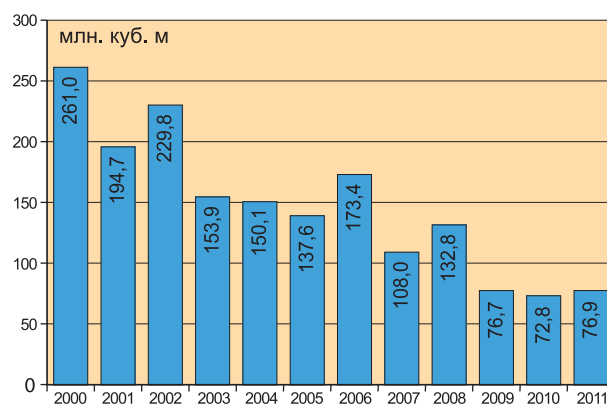


Рис. 1.1.4. Динамика сброса загрязненных сточных вод в атомной отрасли

загрязненных сточных вод рассматривается в качестве одной из главных экологических задач отрасли.

Относительно благоприятная ситуация в атомной отрасли в отношении вопросов охраны окружающей среды связана с тем, что эти вопросы в отраслевом разрезе начали рассматриваться на регулярной основе более тридцати лет назад. В Минсредмаше СССР в 1975 г. был создан Отраслевой отдел защиты окружающей среды. Его основные функции — подготовка сводных по отрасли данных, анализ состояния охраны окружающей среды на предприятиях отрасли, проведение научно-методических работ по созданию отраслевых нормативных, научно-методических материалов и документов по учету выбросов и сбросов, планированию показателей и мероприятий по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов — выполняются до настоящего времени. В 2003 г. Минатомом России был утвержден документ по основам экологической политики. В настоящее время действует его новая редакция — Основы экологической политики [16] и Концепция реализации экологической политики [17].

Главной целью экологической политики Госкорпорации «Росатом» является создание условий, при которых предприятиями отрасли наиболее эффективно обеспечивается достижение стратегической цели экологической политики Российской Федерации — сохранение природных систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций для устойчивого развития общества, повышения качества жизни, улучшения здоровья населения и демографической ситуации, обеспечения экологической безопасности страны. Продвижение к этой цели успешно осуществляется. На большинстве предприятий отрасли приняты документы по экологической политике, публикуются ежегодные отчеты.

Таким образом, в отношении загрязнения окружающей среды химическими веществами текущая эксплуатация предприятий атомной отрасли осуществляется в условиях строгой регламентации и контроля влияния промышленных объектов на окружающую среду. Принципиально иначе обстоят дела в других отраслях промышленности. Наиболее жесткая оценка российской ситуации в этой области содержится в работе [20], где констатируется, что «Ни одна развитая страна мира не имеет такой высокой доли грязных производств...».

О масштабах влияния неблагоприятных факторов окружающей среды на здоровье населения можно судить по результатам исследований, проводившихся в различных городах России. В табл. 1.1.5 представлены данные, характеризующие заболеваемость и смертность населения от различных причин. В частности, очевиден факт высокого уровня заболеваемости и смертности, обусловленных выбросами загрязняющих веществ в атмосферу. Вместе с тем, с точки зрения восприятия риска население гораздо более болезненно относится к вопросам размещения объектов обращения с отходами.

Россия, безусловно, отстает от других промышленно развитых стран в плане использования экологически чистых и энергосберегающих технологий. Модернизация производства, создание объектов инфраструктуры — это процесс, который занимает достаточно длительное время и требует огромных инвестиций. Вектор этого процесса задается принятием соответствующего законодательства и его поступательной реализацией как на уровне политики, проводимой государством, так и на уровне действий хозяйствующих субъектов.

Так, в России только в 2011 г. был поставлен вопрос о формировании четкой правовой базы, регулирующей вопросы ответственности за «историческое» загрязнение, возникшее в результате прошлой хозяйственной деятельности.

Таблица 1.1.5

**Изменения в состоянии здоровья населения, связанные с воздействием неблагоприятных факторов среды обитания [6]**

Фактор	Причина	Число случаев в год	Источник данных
1	2	3	4
<b>Смертность</b>			
Дорожно-транспортные происшествия	Несчастные случаи	До 30 тыс.	МВД России
Загрязнение атмосферного воздуха взвешенными веществами	Болезни органов дыхания, рак легких и др.	21–22 тыс.	Экспертные оценки
Неблагоприятные условия труда	Производственный травматизм	5 тыс.	Госкомстат России
Радон в жилище	Рак легкого	4 тыс.	Данные об уровнях облучения в 1998 г.
Микробное загрязнение воды и продуктов питания	Кишечные инфекции	1,1 тыс.	Госкомстат России
Аварии в промышленности	Смертельные исходы	0,4 тыс.	Госкомстат России
Опасные природные явления	Смертельные исходы	0,08–0,94 тыс.	Госкомстат России
<b>Заболеваемость</b>			
Микробное загрязнение воды и продуктов питания	Острые кишечные инфекции	399 тыс., в том числе дети – 232 тыс.	Федеральный Центр госсанэпиднадзора
Загрязнение атмосферного воздуха	Заболевания органов дыхания, сердечно-сосудистой системы, астма и др.	Более 370 тыс. всех случаев респираторных заболеваний среди детей, в том числе 3–5 тыс. случаев хронических заболеваний органов дыхания, 0,3–0,7 тыс. новых случаев хронических обструктивных заболеваний	Результаты оценки риска в ряде городов России, данные ВОЗ
Неудовлетворительные условия труда	Травмы на производстве	180 тыс.	Госкомстат России
Микробное загрязнение продуктов питания	Сальмонеллез, дизентерия, пищевые отравления	59,6–40,5 на 100 тыс. жителей	Федеральный Центр госсанэпиднадзора
Неудовлетворительные условия труда	Профессиональные заболевания и отравления	11–12 тыс.	Федеральный Центр госсанэпиднадзора



1	2	3	4
Радон в жилище	Рак легкого	До 9 тыс.	Данные об уровнях облучения
Загрязнение продуктов питания химическими веществами и веществами природного происхождения	Пищевые отравления	5–5,7 тыс.	Федеральный Центр госсанэпиднадзора
Микробное загрязнение питьевой воды	Бактериальная дизентерия, гастроэнтериты, брюшной тиф. Гепатит А	1,2–4,8 тыс. 0,4–0,8 тыс. 50–130 тыс.	Федеральный Центр госсанэпиднадзора
Химическое загрязнение питьевой воды	Тяжелые металлы, нитраты, пестициды, фтор	Уровни экспозиции отсутствуют или недостаточны для оценки	
Загрязнение окружающей среды свинцом	Нарушения нервно-психического развития детей	До 400 тыс.	Б.А. Ревич, А.А. Быков
Радиационное загрязнение территории Брянской и Калужской обл.	Рак щитовидной железы	1–22 дополнительных случаев через 10 лет после облучения	В.К. Иванов и др., 1995 г.

### 1.1.2. Вопросы окончательной изоляции отходов производства и потребления

С проблемами, связанными с удалением отходов жизнедеятельности, человек столкнулся еще в первых городах древнего мира. Отдельные ограничения эпизодически применялись и в последующем. В эпоху промышленной революции в европейских городах организуется вывоз отходов. В конце XIX века строятся первые мусоросжигательные печи. Приоритетной задачей и в то время, и в первой половине XX века был сбор и вывоз городских отходов, вопросам их дальнейшей судьбы уделялось мало внимания. Эволюция ограничений на удаление отходов начиналась с запрета на сброс в реки, затем и другие водные системы (так, в США сброс городского мусора в океан был запрещен Верховным судом в 1934 г.). Вопросы же захоронения, окончательной изоляции отходов долгое время оставались за кадром.

Исторически удаление отходов было локальным вопросом и являлось предметом деятельности местных органов власти. Промышленные отходы, включая токсичные, обычно размещались вблизи места их производства — на промплощадках предприятий или неподалеку, бытовые отходы складировались на открытых городских свалках. Часто и те, и другие отходы поступали на одну и ту же свалку. Практически все отходы размещались без их обработки и с минимумом защитных мер. По мере разрастания городов часть земельных участков, занятых бывшими свалками, застраивалась, и о находящихся там отходах забывали. С другой стороны, развитие промышленности и увеличение городского населения требовали освоения все новых площадей для размещения быстро растущего количества отходов.

Понимание необходимости принятия мер по изоляции отходов при их захоронении в земле возникло в профессиональном сообществе уже в 1940–1950-е годы [7].

Технические специалисты обсуждали токсичные свойства отходов, вопросы миграции загрязняющих веществ с грунтовыми и подземными водами, связь между захоронением отходов в земле и последующим распространением загрязнения в окружающей среде. К 1960-м годам был накоплен большой массив научной информации в различных отраслях знаний, включая гидрологию и геологию, стали получать развитие новые инженерные разработки в области обращения с промышленными отходами. Вместе с тем, обеспокоенность опасностью, представляемой неконтролируемым захоронением отходов в почвах и водах, практически не выходила за пределы обсуждений в профессиональном кругу.

В отличие от загрязнения воздуха и воды, которое было «видимым», понятным и затрагивало значительное число людей на больших территориях, воздействие свалок отходов на окружающую среду было не столь очевидным для населения и органов власти. Если связь между загрязнением воздуха и заболеваемостью была установленным фактом, то о связи между утечками опасных веществ и потенциалом их воздействия на здоровье человека в тот период не думали. Кроме того, сами утечки из мест захоронения отходов и вызванное ими загрязнение почв и вод происходили постепенно и не могли быть обнаружены без специальных исследований. Как следствие, регулирующая деятельность со стороны государства была направлена, в основном, на ограничение сбросов загрязняющих веществ со сточными водами и воздушных выбросов в атмосферу.

Рассмотрим, как менялась политика в области обращения с отходами производства и потребления в промышленно развитых странах. В США активное развитие законодательных подходов в области обращения с отходами относится к 1970-м годам. В центре внимания регулирующей деятельности оказались вопросы обеспечения безопасности при обращении с опасными отходами, а также существенное ужесточение требований в отношении полигонов захоронения отходов в земле. Ключевые изменения были связаны с Законом о сохранении и восстановлении ресурсов (RCRA), который был принят в США в 1976 г. и регулировал вопросы обращения с отходами (как опасными, так и твердыми отходами, не являющимися опасными) на действующих предприятиях. Опасными названы отходы, которые «представляют существенную реальную или потенциальную опасность для здоровья человека и окружающей среды». Некоторые виды отходов не попадают под действие регулирования в том случае, если они рециклируются. Основные направления регулирующей деятельности включают в себя:

- стандарты для предприятий по переработке и удалению отходов (стандарты выбросов, удаления вредных веществ из отходов, меры по предотвращению утечек из мест захоронения отходов, требования в отношении финансовой ответственности);
- регулирование захоронения отходов (запрещено захоронение в земле непереботанных отходов, их активные компоненты должны сжигаться или обрабатываться иным образом для предотвращения мобильности опасных веществ);
- программы очистки старых мест хранения отходов.

В рамках RCRA было принято две программы по очистке. Первая касалась подземных мощностей по хранению бензина, нефти, опасных химических веществ для промышленных, торговых и бытовых нужд. Такие хранилища (их в США насчитыва-

лось около 1,1 млн) могли вызывать загрязнение подземных вод и другие последствия. Как для старых, так и для новых хранилищ были установлены требования по предотвращению утечек и их обнаружению. Был образован фонд для осуществления работ по очистке. Вторая программа — программа корректирующих действий — была нацелена на очистку мест, которые были загрязнены в результате деятельности, регулируемой этим законом.

До принятия закона основным способом удаления твердых отходов в США было их размещение на открытых свалках или сжигание на весьма примитивных мусоро-сжигательных предприятиях. RCRA запретил открытые свалки как таковые, а также сжигание отходов на открытом воздухе. Теперь все полигоны должны были отвечать строгим санитарным нормам и покрываться земляным слоем. Обязательным стал мониторинг грунтовых вод, а также мониторинг состояния полигона после его закрытия.

Регулирующие меры обусловили значительные положительные изменения в практике обращения с отходами. Наиболее полные статистические данные относительно количества отходов и способов обращения с ними имеются в отношении муниципальных твердых отходов (табл. 1.1.6). К ним относятся отходы домохозяйств и другие отходы, которые собираются муниципальными службами (например, отходы офисов, предприятий торговли и общественного питания).

Таблица 1.1.6

**Объемы производства (млн т) и способы обращения с муниципальными отходами [8]**

Годы	1970		1990		2009	
	млн т	%	млн т	%	млн т	%
Производство	121,1	100%	208,3	100%	243,0	100%
Восстановление (рециклирование)	8,0	6,6%	29,0	14,0%	61,3	25,2%
Восстановление (компостирование)	—	—	4,2	2,0%	20,8	8,6%
Восстановление, всего	8,0	6,6%	33,2	16,0%	82,0	33,8%
Сжигание в энергетических целях	0,4	0,3%	29,7	14,2%	29,0	11,9%
Захоронение и др.	112,7	93,1%	145,3	69,8%	131,9	54,3%

В 1960–1980-е годы подавляющая часть этих отходов захоранивалась в земле, вторичное использование практиковалось в крайне ограниченных масштабах. Однако уже к 2000-м годам произошел существенный перелом, теперь на захоронение отправляется чуть более половины отходов, производимых на муниципальном уровне [8].

Значительный объем информации имеется в отношении производства опасных отходов и способов обращения с ними. В 2009 г. в США было произведено 35,3 млн т опасных отходов [9]. В стране насчитывается 16220 производителей таких отходов, из них 14710 являются крупными производителями. В соответствии с RCRA к ним относятся все те, кто производит в месяц более 1 т опасных отходов или более 1 кг особо опасных отходов. Крупным производителям разрешено держать опасные отходы на площадке не более 90 дней, количество отходов при этом не регламентировано.

Всем крупным производителям опасных отходов присваивается идентификационный номер, на основании которого будет осуществляться мониторинг всех операций по обращению с ними. Установлены требования по документированию отходов и предоставлению отчетности. Любую транспортировку отходов от предприятия-производителя до места окончательной изоляции сопровождает декларация — документ, в котором указан источник образования и тип отходов.



Используются различные способы окончательной изоляции опасных отходов. Установлен запрет на захоронение в земле определенных видов отходов, если только они не получили требуемой обработки. Основным способом изоляции опасных отходов в США является их размещение (закачка) в глубокие скважины, так изолируется половина (51%) производимых опасных отходов. Хотя создание новых скважин запрещено с начала 1980-х годов, разрешено использование уже действовавших объектов, которых в настоящее время насчитывается 42. Такие методы, как сжигание, захоронение на полигонах, восстановление ресурсов, применяются в ограниченном масштабе и используются для 2–5% опасных отходов.

В европейских странах законодательство в области обращения с отходами развивалось как на национальном, так и на наднациональном уровне при постепенном и существенном возрастании роли последнего, призванного гармонизировать регулирующие меры и практику обращения с отходами. На уровне Евросоюза принят ряд директив, регулирующих обращение с отходами, часть из них была напрямую продиктована программами экологических действий. Первая из директив, устанавливающих общие принципы обращения с отходами, была принята в 1975 г. [10]. В ней зафиксированы определение отходов, принцип «загрязнитель платит», требование получения разрешений на деятельность по обращению с отходами и документирование, проведение инспекций уполномоченными органами и др. В дальнейшем регулирующая деятельность в этой области активно развивалась. Были приняты директивы по опасным отходам, транспортировке отходов, таким методам обращения с отходами, как сжигание и захоронение в земле, директивы по отдельным потокам отходов (отработанные нефтепродукты, использованные батареи и аккумуляторы, отходы упаковки, отходы горнорудной промышленности и др.). Директивы содержали требования, которые государства-члены должны были реализовывать через свое национальное законодательство.

Прообразом для принятия другой директивы 1975 г. — Директивы по обращению с отработанными нефтепродуктами — послужило соответствующее законодательство Германии, принятое в 1968 г. Согласно ему, обязательным был сбор таких отходов объемом более 200 л и создание мощностей по хранению для меньших количеств. Также была учреждена система субсидий для предприятий, занимающихся восстановлением смазочных материалов или сжиганием отходов в энергетических целях. Средства на субсидии поступали за счет налога на соответствующие нефтепродукты. Директива 1975 г. ставила целью разработать эффективную систему сбора, переработки, хранения и захоронения отработанных нефтепродуктов (таких как автомобильные масла и др.) в целях защиты окружающей среды уже во всех странах-участницах ЕС. Она устанавливала приоритет регенерации таких отходов и содержала нормы допустимых выбросов в воздух при их сжигании. В дальнейшем из-под действия директивы были выведены синтетические масла и отходы, содержащие полихлорбифенилы, которые стали регулироваться отдельной директивой. Как следствие реализации таких мер к началу 2000 г. в странах Евросоюза собиралось около 80% отработанных нефтепродуктов, из которых 44% регенерировалось и 46% сжигалось.

Развитие законодательства по опасным отходам происходило в странах Западной Европы на протяжении всех этих лет. Первая директива, напрямую адресованная токсичным и опасным отходам, была принята в 1978 г. и устанавливала перечень таких веществ. Директива основывалась на принципе «загрязнитель платит», согласно которому нынешний владелец отходов или/и прошлый владелец и их производитель несут финансовую ответственность за затраты, связанные с хранением, переработ-

кой и удалением таких отходов. Это законодательство было существенно обновлено с принятием в 1991 г. новой директивы по опасным отходам.

Директива содержала новый перечень опасных веществ, в который входило 200 видов отходов, включенных в 19 основных категорий. В ней устанавливались требования запрета на смешивание опасных отходов с другими их видами, получения разрешений на деятельность в области обращения с ними, проведение периодических проверок, документирования, надлежащей упаковки и маркировки опасных отходов в процессе сбора, транспортировки и временного хранения. Было установлено требование к разработке уполномоченными национальными органами планов обращения с опасными отходами с целью достигнуть «самообеспеченности», т. е. достаточности у страны инфраструктуры по обращению с отходами, произведенными на ее территории. Это также позволяло вести контроль за передвижением отходов, которые не соответствовали разработанным планам.

Вопросам трансграничной перевозки опасных отходов был адресован ряд директив и регламентов. С развитием регулирования в области обращения с отходами и удорожанием их захоронения попытки вывезти отходы в третьи страны стали более многочисленными. 1980-е годы особенно изобиловали скандалами, связанными с перевозкой опасных веществ. После принятия в 1989 г. Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением в 1993 г. был принят регламент по надзору и контролю за перевозками отходов, в соответствии с которым регулированию подлежали все перевозки отходов внутри ЕС, а также их ввоз и вывоз. Был запрещен вывоз опасных отходов в целях окончательного удаления в страны, не являющиеся членами ОЭСР. Удаление отходов внутри Евросоюза требовало получения соответствующего разрешения, также применялись принципы «самообеспеченности» (удаление своих отходов на своей территории) и «близости» (удаление близко к источнику производства отходов). Переработка отходов в пределах Евросоюза с целью их восстановления зависела от того, в какой список попадали отходы. Если в «зеленый», то они в значительной мере исключались из регулирования, при попадании в «желтый» список требовалось предварительное уведомление, нахождение в «красном» списке требовало получения разрешения.

В 1989 г. Евросоюз принял Стратегию обращения с отходами, которая базируется на следующих основных принципах:

- предупреждение образования отходов с помощью технологий и продукции;
- рециклирование и вторичное использование;
- оптимизация способов окончательного удаления;
- рациональная организация и регулирование всех операций, связанных с обращением с отходами;
- действия по очистке (реабилитация загрязненных территорий, включая старые свалки отходов).

Приоритет любых методов восстановления отходов над их удалением и, прежде всего, захоронением в земле был в дальнейшем интегрирован и во многие другие документы.

Ужесточение регулирующих требований к мощностям по обращению с отходами нашло свое выражение в ряде директив. В Директиве об оценке воздействия на окружающую среду 1985 г. для новых объектов, принимающих для удаления более 20 тыс. т отходов в год, требовалось проведение такой оценки. Директива о сжигании опасных отходов 1994 г. ставила целью минимизацию воздушных выбросов в окружающую среду, а также устанавливала строгие правила лицензирования и жесткие технические, проектные и эксплуатационные критерии для таких предприятий.

Директива о захоронении в земле 1999 г. наряду с установлением требований к захоронению содержала ряд целевых установок. Под объектами захоронения в земле директива понимает объекты размещения отходов на земле или под землей, включая объекты, которые используются производителем отходов для их размещения на площадке предприятия, а также объекты для временного хранения отходов, если отходы находятся на них более одного года. Исключаются объекты обращения с отходами, которые используются для перегрузки отходов для последующей транспортировки, объекты, на которых отходы хранятся для их последующего восстановления или переработки менее трех лет, и объекты, на которых отходы хранятся менее одного года.

В соответствии с директивой объекты захоронения отходов в земле стали подразделяться на следующие классы: объекты захоронения опасных отходов, объекты захоронения отходов, не являющихся опасными, и объекты захоронения инертных отходов. Государства-члены должны разработать национальную стратегию по сокращению количества биоразлагаемых отходов, поступающих на захоронение. К таким отходам относятся бумага, картон, древесина, отходы садоводства и др. материалы. Их доля должна к 2010 г. сократиться до 75% от уровня 1995 г. и до 35% к 2020 г.

Директивой запрещено с 2004 г. захоранивать вместе опасные и неопасные отходы. При этом все опасные отходы, подлежащие захоронению, должны сначала быть обработаны. Кроме этого директива требует, чтобы страны приняли меры по запрету захоронения определенных типов отходов, таких как жидкие отходы, некоторые виды медицинских и опасных отходов. Не допускается захоронение отходов, не отвечающих критериям приемлемости (страны должны установить такие критерии или списки отходов, которые можно захоранивать), а также разбавление отходов для целей их соответствия этим критериям. В отношении уже существующих объектов захоронения директива требует, чтобы они были адаптированы к установленным требованиям не позднее 2009 г. или перестали эксплуатироваться.

В 2011 г. был принят новый регламент в отношении отходов (Директива по отходам) [11], который существенно дополнил или заменил уже имеющиеся акты, включая Закон об обращении с отходами 1996 г. В настоящее время в законодательстве Евросоюза введена иерархия способов обращения с отходами, которая должна реализовываться в проводимой политике в этой области и на практике. Установлены следующие приоритеты:

- предупреждение образования отходов;
- вторичное использование;
- рециклирование;
- иное восстановление (включая использование для энергетических целей);
- захоронение.

При этом учитывается, что необходимы такие меры, которые обеспечивают наилучший результат для окружающей среды, поэтому, например, какие-то виды отходов могут быть исключены из этой иерархии, если это оправдано с точки зрения всего жизненного цикла таких отходов.

Установлены целевые ориентиры по достижению уровней вторичного использования отходов. Например, к 2020 г. вторичное использование и рециклирование таких материалов, как бумага, металлы, пластик, стекло из отходов домохозяйств, должно быть доведено, как минимум, до уровня 50% их исходного веса. В эти же сроки предполагается довести до уровня 50% вторичное использование и рециклирование отходов строительства и демонтажа (в том числе за счет замены ими других материалов).

Масштабы производства отходов и способы обращения с ними могут быть охарактеризованы следующими данными Евростата [12]. В 2008 г. в 27 странах Евросоюза было произведено 2,6 млрд т отходов, или в среднем 5,3 т на душу населения. Бытовые отходы домохозяйств составили от 300 до 500 кг (в среднем — 444 кг) на душу населения в зависимости от страны. Остальные отходы были образованы в ходе хозяйственной деятельности, из которых основная доля была произведена в промышленности (55%) и строительстве (36%). Производство опасных отходов составило 98 млн т, или 3,7% от общего объема. В среднем в Евросоюзе около половины всех отходов захоранивается в земле, при этом есть значительные различия между странами, обусловленные как источниками образования отходов, так и практикой обращения с ними (табл. 1.1.7).

Таблица 1.1.7

**Способы обращения с отходами в странах Евросоюза  
(в % к общему объему переработанных отходов) [12]**

Страна	Восстановление (за исключением использования в энергетических целях)	Сжигание (включая использование в энергетических целях)	Захоронение
Евросоюз — 27 стран	45,7	5,4	48,9
Дания	70,3	22,7	7,1
Германия	69,5	10,1	20,3
Польша	76,3	2,7	21,0
Франция	60,3	6,4	33,3
Испания	51,1	2,2	46,7
Латвия	46,6	1,3	52,0
Великобритания	45,1	1,8	53,1
Швеция	12,1	10,4	77,5

Так, Болгария захоранивает в земле около 99% своих отходов, что связано со значительными объемами отходов горнодобывающей промышленности и строительства.

Самый низкий уровень захоронения в земле у Дании и Бельгии. Восстановление отходов — это практически любые способы их вторичного использования, включая переработку в новые материалы, например, строительные. Оно широко практикуется в большинстве западноевропейских стран.

В России проблемы обращения с отходами и их окончательной изоляции стоят достаточно остро. По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2009 году» [13], в стране за этот год образовалось 3,5 млрд т отходов, еще 30,5 млрд т было накоплено на начало 2009 г. Подавляющий объем производимых отходов связан с добывающей промышленностью (добыча топливно-энергетических и других полезных ископаемых), где было образовано 3,0 млрд т отходов. Доля отходов I–III классов опасности относительно невелика и составляет 0,3% (12,1 млн т).

Основные проблемы, связанные с обращением с отходами, обусловлены низкой степенью вторичного использования и обезвреживания отходов (табл. 1.1.8) и неразвитостью инфраструктуры по обращению с отходами.

В результате значительное количество накопленных отходов находится, как правило, на промышленных площадках предприятий, занимая огромные территории.

Таблица 1.1.8

**Образование, использование и обезвреживание  
отходов производства и потребления в России в 2002, 2004, 2006–2009 гг. [13]**

Год	Образовалось за отчетный год, млн т	Использовано и обезврежено, % количества образовавшихся отходов
<b>Отходы всех классов опасности</b>		
2002	2034,9	59,7
2004	2634,9	43,3
2006	3519,4	39,7
2007	3899,3	57,9
2008	3817,7	50,5
2009	3505,0	47,4
<b>Отходы I класса опасности</b>		
2002	0,4	21,4
2004	0,3	15,1
2006	0,1	80,7
2007	0,2	51,5
2008	0,2	60,0
2009	0,1	42,7
<b>Отходы II класса опасности</b>		
2002	1,4	89,1
2004	1,6	82,7
2006	1,0	80,2
2007	1,3	66,4
2008	0,9	60,0
2009	0,7	65,6
<b>Отходы III класса опасности</b>		
2002	18,1	13,2
2004	7,8	75,1
2006	11,1	69,3
2007	11,1	84,0
2008	0,9	79,2
2009	11,3	80,3
<b>Отходы IV класса опасности</b>		
2002	187,9	114,5 *
2004	133,5	51,5
2006	127,8	68,4
2007	275,1	34,6
2008	110,8	72,3
2009	128,8	72,4
<b>Отходы V класса опасности</b>		
2002	1827,0	54,5
2004	2491,7	42,7
2006	3379,4	38,5
2007	3611,6	59,6
2008	3696,0	50,5
2009	3364,0	46,3

\* С учетом ранее накопленных отходов.



На конец 2009 г. на территориях, принадлежащих предприятиям, размещено 31,8 млрд т отходов. Объемы отходов, направляемых на хранение, почти в два с половиной раза превышают объемы отходов, направляемых на захоронение (соответственно 1650,6 млн т и 683,5 млн т).

Образование отходов производства и потребления в атомной отрасли характеризуется сравнительно невысокой долей опасных отходов. Доля отрасли в объеме образующихся токсичных отходов составляет около 0,6%. В абсолютном измерении в 2011 г. на предприятиях отрасли образовалось 22,7 млн т отходов производства и потребления, из которых 22,6 млн т (99,6%) составляют практически неопасные отходы V класса опасности. Их основная масса образуется на ОАО «ППГХО» (22,2 млн т) и представляет собой вскрышные породы и хвосты обогащения горно-обогатительного производства.

Из общего количества образовавшихся в отчетном году отходов I класса опасности (0,3 тыс. т) было обезврежено и использовано 6,7%, II класса (22,3 тыс. т) — 57,4%, III класса (5,0 тыс. т) — 16,0%, IV класса (103,1 тыс. т) — 26,4%, V класса (22 603,5 тыс. т) — 97,7%. Всего было использовано и обезврежено 97,3% от общей массы отходов, образовавшихся за отчетный год. В результате увеличения общего объема накопленных отходов практически не произошло.

Всего на конец 2011 г. на предприятиях отрасли накоплено 398,8 млн т отходов производства, из которых 98,8% (394,1 млн т) — отходы V класса опасности, 1,2% (4,7 млн т) — IV класса, 8,7 тыс. т — III класса, 261,4 т — II и 382,3 т — I класса опасности.

В отличие от многих стран действующее российское законодательство не устанавливает приоритетов способов обращения с отходами. Основным законодательным актом, регулирующим вопросы обращения с отходами, является Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ. На парламентских слушаниях «Обращение с отходами: проблемы законодательного обеспечения и государственное регулирование» 30.11.2006 г. [18] отмечалось, в частности, отсутствие в законе таких норм, как обеспечение приоритета утилизации отходов над их размещением, принцип ответственности производителей за утилизацию их продукции в конце жизненного цикла, применение наилучших существующих технологий в области обращения с отходами. Как следствие, возрастают объемы образования отходов с последующим их сжиганием или захоронением на полигонах, продолжается загрязнение рек отходами угледобывающей и лесоперерабатывающей промышленности, коммунального и сельского хозяйства, слабо внедряются технологии по вовлечению отходов в хозяйственный оборот. По итогам слушаний выработаны рекомендации по направлениям совершенствования нормативно-правовой базы в области обращения с отходами, ее гармонизации с соглашениями ВТО и директивами ЕС.

В отчете о результатах контрольного мероприятия «Аудит эффективности охраны окружающей среды в Российской Федерации в 2005–2007 годах», подготовленном Счетной палатой Российской Федерации в 2010 г. [19], отмечалось, что в области обращения с отходами наибольшую опасность представляют колоссальные объемы твердых бытовых отходов, захороненные в необорудованных местах вблизи городов, а также промышленные отходы высоких классов опасности, такие как тяжелые металлы и высокотоксичные вещества. Отчет содержит вывод о том, что важнейшей задачей является совершенствование технологических процессов в целях создания безотходных технологий и исключения выбросов в атмосферу и воду. При этом в первую очередь необходимо наведение порядка в учете и контроле мест захоронения отходов и разработке новых методов их обезвреживания.

В этом плане принятый в 2011 г. Федеральный закон «Об обращении с радиоактивными отходами» от 11.07.2011 г. № 190-ФЗ реализует принципиально новый подход, закрепляя приоритет окончательной изоляции отходов над практикой их хранения. Законом установлена обязательность безопасного захоронения образующихся радиоактивных отходов и конкретные этапы и механизмы достижения этой цели. Закон также содержит нормы, адресованные накопленным радиоактивным отходам и местам их размещения.

## **1.2. Радиоактивные вещества и радиоактивные отходы как фактор риска**

### **1.2.1. Радиационное нормирование**

Особенность радиоактивных отходов в сравнении с обычными отходами производства и потребления определяется присутствием в них нестабильных нуклидов (радионуклидов) техногенного происхождения. Специфическое дополнительное воздействие радионуклидов обусловлено излучением, возникающим при радиоактивном распаде. Другим фактором, определяющим обособленное рассмотрение радиоактивных отходов, является источник их происхождения — деятельность по использованию атомной энергии.

В отличие практически от всех других видов деятельности атомная отрасль с первых дней развивалась с установкой на необходимость ограничения рисков. Уникальность отрасли состоит еще и в том, что фундаментальные принципы радиационной защиты практически сразу стали разрабатываться на наднациональном уровне: этим занималась Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ), созданная еще в 1928 г.<sup>1</sup> По мере развития отрасли и появления новых видов использования атомной энергии значительно расширился и спектр задач и обязанностей МКРЗ, это подробно описано в [1]. Рекомендации МКРЗ лежат в основе регулирования использования атомной энергии в отдельных странах и на международном уровне.

Как и в случае химически вредных веществ, в международной практике рассматривают два пути поступления радиоактивных веществ в окружающую среду: в виде техногенных радионуклидов в составе сбросов и выбросов (рис. 1.2.1), это, как правило, большие объемы и малые концентрации, и собственно отходов, которые нужно безопасно хранить и захоранивать.

Создание и эксплуатация ядерных реакторов, а также другие формы использования атомной энергии изначально реализовывались в условиях государственного регулирования, а в дальнейшем и международного контроля. Сегодня одним из наиболее значимых документов на международном уровне является «Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами» [21], ратифицированная Российской Федерацией в 2005 году (далее — Объединенная конвенция).

В Объединенной конвенции пути поступления радиоактивных веществ определяются следующим образом:

— часть «с» статьи 3: «сбросы» означают планируемые и контролируемые выбросы в окружающую среду в качестве законной практики в пределах, санкционированных регулирующим органом, жидких или газообразных радиоактивных материалов,

<sup>1</sup> Строго говоря, в 1928 г. был создан Комитет по защите от рентгеновских лучей и радия, который в 1950 г. был преобразован в МКРЗ.

которые образовались на регулируемых ядерных установках в ходе нормальной эксплуатации;

— часть «h» статьи 3: «радиоактивные отходы» означают радиоактивный материал в газообразном, жидком или твердом состоянии, дальнейшее использование которого не предусматривается договаривающейся стороной или физическим или юридическим лицом, чье решение признает договаривающаяся сторона, и который контролируется в качестве радиоактивных отходов регулирующим органом в рамках законодательной и регулирующей основы договаривающейся стороны.

Согласно части «iv» статьи 11 должны приниматься соответствующие меры, с тем, чтобы предусмотреть эффективную защиту отдельных лиц, общества в целом и окружающей среды путем применения на национальном уровне соответствующих методов защиты, утвержденных регулирующим органом, в рамках своего национального законодательства, должным образом учитывающего одобренные на международном уровне критерии и нормы.

Отметим еще одну особенность радиоактивных отходов — это отходы, дальнейшее использование которых не предусматривается. В отношении обычных отходов, как правило, применяется иная формула, допускающая ситуацию, когда отходы одного производства являются сырьем для другого.

Итак, техногенные радионуклиды подвержены радиоактивному распаду, который сопровождается радиационным воздействием на человека и объекты окружающей среды. Известно [22] более 3000 стабильных и нестабильных нуклидов. У подавляющего большинства из них (более 90%) условия и интенсивность образования, а также период полураспада таковы, что их учет в принципе не играет никакой роли для рассмотрения вопросов радиационной безопасности человека и защиты окружающей среды. В соответствии международно признанными подходами и нормами радиационной безопасности [23–26] регламентируются концентрации более чем 300 радионуклидов (табл. 1.2.1). Это регулирование распространяется и на материалы, находящиеся в составе действующих установок, и на выбросы и сбросы радиоактивных ве-

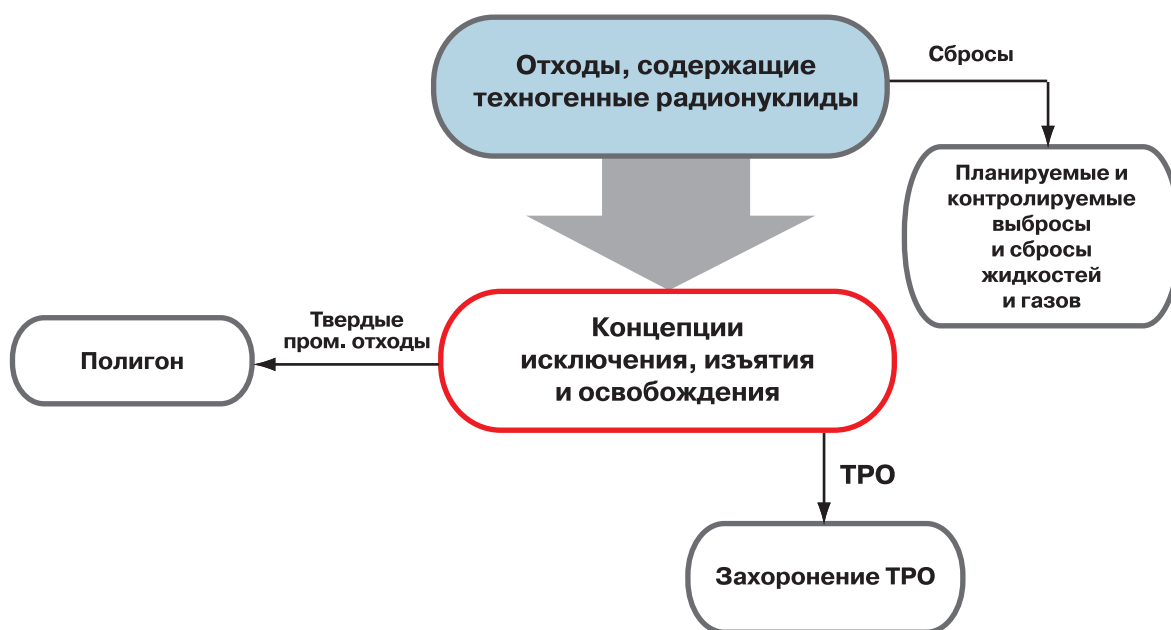


Рис. 1.2.1. Пути поступления отходов в окружающую среду



Таблица 1.2.1

**Границы области регулирования вопросов  
радиационной безопасности по отдельным радионуклидам**

Радионуклид	НРБ				ОСПОРБ	Значи- мая роль в выбро- сах, сбросах и РАО*
	МЗУА (П-4), Бк/г	МЗА	Уровень вмешатель- ства (П-2а), Бк/г	ДОО нас. (П-2), Бк/м3	Удельная активность освобожде- ния (П-3), Бк/г	
1	2	3	4	5	6	7
H-3	1,00E+06	1 E+09	7,6	1,90E+03	100	C, B, PAO
Be-7	1,00E+03	1 E+07	4,9	2,00E+03	10	
C-14	1,00E+04	1 E+07	0,24	5,50E+01	1	B, PAO
O-15	1,00E+02	1 E+09	—	—	—	
F-18	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Na-22	1,00E+01	1 E+06	0,043	7,20E+01	0,1	B, PAO
Na-24	1,00E+01	1 E+05	0	2,90E+02	—	B
Si-31	1,00E+03	1 E+06	—	—	1000	
P-32	1,00E+03	1 E+05	0,057	3,40E+01	1000	C
P-33	1,00E+05	1 E+08	0,57	7,20E+01	1000	
S-35	1,00E+05	1 E+08	0,178	7,60E+01	100	
Cl-36	1,00E+04	1 E+06	0,15	1,60E+01	1	PAO
Ar-37	1,00E+06	1 E+08	—	—	—	
Cl-38	1,00E+01	1 E+05	—	—	10	
K-40	1,00E+02	1 E+06	—	3,10E+01	—	
Ar-41	1,00E+02	1 E+09	—	—	—	B
K-42	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	
K-43	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Ca-45	1,00E+04	1 E+07	0,19	3,00E+01	100	
Sc-46	1,00E+01	1 E+06	0,091	1,60E+01	0,1	
Ca-47	1,00E+01	1 E+06	0,086	5,30E+01	10	
Sc-47	1,00E+02	1 E+06	0,25	1,50E+02	100	
Sc-48	1,00E+01	1 E+05	0,081	8,90E+01	1	
V-48	1,00E+01	1 E+05	0,069	4,50E+01	1	
Cr-51	1,00E+03	1 E+07	3,6	2,50E+03	100	
Mn-51	1,00E+01	1 E+05	1,5	—	10	
Fe-52	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Mn-52	1,00E+01	1 E+05	0,076	7,70E+01	1	
Mn-52m	1,00E+01	1 E+05	—	—	10	
Mn-53	1,00E+04	1 E+09	4,6	1,50E+03	100	
Mn-54	1,00E+01	1 E+06	0,193	7,20E+01	0,1	B, C
Co-55	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Fe-55	1,00E+04	1 E+06	0,42	3,10E+02	1000	
Co-56	1,00E+01	1 E+05	0,055	2,40E+01	0,1	
Mn-56	1,00E+01	1 E+05	—	6,80E+02	10	
Co-57	1,00E+02	1 E+06	0,65	2,00E+02	1	
Co-58	1,00E+01	1 E+06	0,19	6,80E+01	1	
Co-58m	1,00E+04	1 E+07	—	—	10000	
Fe-59	1,00E+01	1 E+06	0,076	3,00E+01	1	
Ni-59	1,00E+04	1 E+08	2,2	8,50E+02	100	PAO
Co-60	1,00E+01	1 E+05	0,04	1,10E+01	0,1	B, PAO
Co-60m	1,00E+03	1 E+06	—	—	1000	

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Таблица 1.2.1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7
Co-61	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	РАО
Co-62m	1,00E+01	1 E+05	—	—	10	
Ni-63	1,00E+05	1 E+08	0,91	2,60E+02	100	РАО
Cu-64	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	
Ni-65	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	В, С
Zn-65	1,00E+01	1 E+06	0,035	7,20E+01	0,1	
Zn-69	1,00E+04	1 E+06	—	—	1000	В, С
Zn-69m	1,00E+02	1 E+06	—	—	10	
Ge-71	1,00E+04	1 E+08	11,4	—	10000	В, С
Ga-72	1,00E+01	1 E+05	—	—	10	
As-73	1,00E+03	1 E+07	0,53	1,10E+02	1000	В, С
As-74	1,00E+01	1 E+06	0,11	5,30E+01	10	
Kr-74	1,00E+02	1 E+09	—	—	—	В, С
Se-75	1,00E+02	1 E+06	0,053	7,70E+01	1	
As-76	1,00E+02	1 E+05	0,086	1,10E+02	10	В, С
Kr-76	1,00E+02	1 E+09	—	—	—	
As-77	1,00E+03	1 E+06	0,34	2,70E+02	1000	В, С
Kr-77	1,00E+02	1 E+09	—	—	—	
Kr-79	1,00E+03	1 E+05	—	—	—	В, С
Kr-81	1,00E+04	1 E+07	—	—	—	
Br-82	1,00E+01	1 E+06	0,25	1,70E+02	1	В, С
Kr-83m	1,00E+05	1 E+12	—	—	—	
Kr-85	1,00E+05	1 E+04	—	—	—	В
Sr-85	1,00E+02	1 E+06	0,24	1,60E+02	1	
Kr-85m	1,00E+03	1 E+10	—	—	—	В
Sr-85m	1,00E+02	1 E+07	—	—	100	
Rb-86	1,00E+02	1 E+05	0,049	6,80E+01	100	В
Kr-87	1,00E+02	1 E+09	—	—	—	
Sr-87m	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	В
Kr-88	1,00E+02	1 E+09	—	—	—	
Sr-89	1,00E+03	1 E+06	0,053	1,90E+01	1000	В
Mo-90	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Sr-90	1,00E+02	1 E+04	0,005	2,7	1	РАО, С, В
Y-90	1,00E+03	1 E+05	0,051	6,00E+01	1000	
Sr-91	1,00E+01	1 E+05	—	—	10	В
Y-91	1,00E+03	1 E+06	0,057	1,40E+01	100	
Y-91m	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	В
Sr-92	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Y-92	1,00E+02	1 E+05	—	—	100	В
Mo-93	1,00E+03	1 E+08	0,044	2,10E+02	10	
Y-93	1,00E+02	1 E+05	—	—	100	В
Zr-93	1,00E+03	1 E+07	0,12	1,20E+01	10	
Nb-93m	1,00E+04	1 E+07	1,1	2,20E+02	10	В
Nb-94	1,00E+01	1 E+06	0,081	1,10E+01	0,1	
Nb-95	1,00E+01	1 E+06	0,24	7,20E+01	1	В
Zr-95	1,00E+01	1 E+06	0,14	2,30E+01	1	
Tc-96	1,00E+01	1 E+06	0,12	1,30E+02	1	В
Tc-96m	1,00E+03	1 E+07	0	—	1000	
Nb-97	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	В
Ru-97	1,00E+02	1 E+07	0,91	8,60E+02	10	
Tc-97	1,00E+03	1 E+08	2	4,90E+02	10	В
Zr-97	1,00E+01	1 E+05	—	—	10	

Таблица 1.2.1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7
Tc-97m	1,00E+03	1 E+07	0,25	3,30E+01	100	
Nb-98	1,00E+01	1 E+05	—	—	10	
Mo-99	1,00E+02	1 E+06	0,22	1,20E+02	10	
Tc-99	1,00E+04	1 E+07	0,21	2,70E+01	1	PAO
Tc-99m	1,00E+02	1 E+07	—	—	100	
Mo-101	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Pd-103	1,00E+03	1 E+08	0,72	2,60E+02	1000	
Ru-103	1,00E+02	1 E+06	0,19	4,60E+01	1	B, C
Rh-103m	1,00E+04	1 E+08	—	—	10000	
Ag-105	1,00E+02	1 E+06	0,29	1,50E+02	1	
Rh-105	1,00E+02	1 E+07	0,37	—	100	
Ru-105	1,00E+01	1 E+06	—	3,00E+02	10	
Ru-106	1,00E+02	1 E+05	0,02	4,4	0,1	B, C
Cd-109	1,00E+04	1 E+06	0,069	1,40E+01	1	
Pd-109	1,00E+03	1 E+06	—	—	100	
Ag-110m	1,00E+01	1 E+06	0,049	1,50E+01	0,1	B, C
Ag-111	1,00E+03	1 E+06	0,11	7,20E+01	100	
In-111	1,00E+02	1 E+06	0,47	4,40E+02	10	
Sn-113	1,00E+03	1 E+07	0,19	4,30E+01	1	
In-113m	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	
In-114m	1,00E+02	1 E+06	0,033	6,8	10	
Cd-115	1,00E+02	1 E+06	0,098	1,00E+02	10	
Cd-115m	1,00E+03	1 E+06	0,042	1,50E+01	100	
In-115m	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	
Sb-122	1,00E+02	1 E+04	0,081	9,20E+01	10	
I-123	1,00E+02	1 E+07	0,65	—	100	
Te-123m	1,00E+02	1 E+07	0,086	2,70E+01	1	
Sb-124	1,00E+01	1 E+06	0,055	1,80E+01	1	
I-125	1,00E+03	1 E+06	0,009	1,70E+01	100	
Sb-125	1,00E+02	1 E+06	0,12	2,40E+01	0,1	B, C
Sn-125	1,00E+02	1 E+05	0,044	3,50E+01	10	
Te-125m	1,00E+03	1 E+07	—	3,20E+01	1000	
I-126	1,00E+02	1 E+06	0,005	6,3	10	
Te-127	1,00E+03	1 E+06	0,81	—	1000	
Te-127m	1,00E+03	1 E+07	0,06	1,50E+01	10	
Cs-129	1,00E+02	1 E+05	2,3	1,90E+03	10	
I-129	1,00E+02	1 E+05	0,001	2,9	0,01	PAO, C
Te-129	1,00E+02	1 E+06	2,1	—	100	
Te-129m	1,00E+03	1 E+06	0,046	1,70E+01	10	
I-130	1,00E+01	1 E+06	0,069	—	10	
Ba-131	1,00E+02	1 E+06	0,3	1,40E+02	10	
Cs-131	1,00E+03	1 E+06	2,4	3,10E+03	1000	
I-131	1,00E+02	1 E+06	0,006	7,3	10	B, C
Te-131	1,00E+02	1 E+05	1,6	—	100	
Te-131m	1,00E+01	1 E+06	0,072	9,10E+01	10	
Xe-131m	1,00E+04	1 E+04	—	—	—	
Cs-132	1,00E+01	1 E+05	0,27	4,40E+02	10	
I-132	1,00E+01	1 E+05	—	—	10	B
Te-132	1,00E+02	1 E+07	0,036	4,00E+01	1	
Ba-133	1,00E+01	1 E+05	0	2,50E+01	—	
I-133	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	B
Te-133	1,00E+01	1 E+05	—	—	10	

ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Таблица 1.2.1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7
Xe-133	1,00E+03	1 E+04	—	—	—	В
Te-133m	1,00E+01	1 E+05	—	—	10	
Cs-134	1,00E+01	1 E+04	0,007	1,90E+01	0,1	В, С
I-134	1,00E+01	1 E+05	—	—	10	
Te-134	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Cs-134m	1,00E+03	1 E+05	—	—	—	
Cs-135	1,00E+04	1 E+07	0,069	1,80E+02	100	
I-135	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Xe-135	1,00E+03	1 E+10	—	—	—	
Cs-136	1,00E+01	1 E+05	0,046	9,60E+01	1	
Cs-137	1,00E+01	1 E+04	0,011	2,70E+01	0,1	РАО, В, С
Cs-138	1,00E+01	1 E+04	1,5	—	10	
Ce-139	1,00E+02	1 E+06	0,53	6,50E+01	1	
Ba-140	1,00E+01	1 E+05	0,053	2,20E+01	1	В
La-140	1,00E+01	1 E+05	0,069	8,40E+01	1	В
Ce-141	1,00E+02	1 E+07	0,19	3,30E+01	100	В, С
Pr-142	1,00E+02	1 E+05	—	—	100	
Ce-143	1,00E+02	1 E+06	0,12	1,30E+02	10	
Pr-143	1,00E+04	1 E+06	0,11	4,60E+01	1000	
Ce-144	1,00E+02	1 E+05	0,026	3,3	10	В, С
Nd-147	1,00E+02	1 E+06	0,12	4,60E+01	100	
Pm-147	1,00E+04	1 E+07	0,53	2,40E+01	1000	
Nd-149	1,00E+02	1 E+06	0	0	100	
Pm-149	1,00E+03	1 E+06	0,14	1,50E+02	1000	
Sm-151	1,00E+04	1 E+08	1,4	3,10E+01	1000	
Eu-152	1,00E+01	1 E+06	0,098	2,9	0,1	РАО
Eu-152m	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	
Gd-153	1,00E+02	1 E+07	0,51	4,40E+01	10	
Sm-153	1,00E+02	1 E+06	0,19	1,70E+02	100	
Eu-154	1,00E+01	1 E+06	0,069	2,3	0,1	
Eu-155	1,00E+02	1 E+07	0,43	1,80E+01	1	
Gd-159	1,00E+03	1 E+06	—	—	100	
Tb-160	1,00E+01	1 E+06	0,086	1,60E+01	1	
Dy-165	1,00E+03	1 E+06	—	—	1000	
Dy-166	1,00E+03	1 E+06	—	6,00E+01	100	
Ho-166	1,00E+03	1 E+05	—	1,30E+02	100	
Er-169	1,00E+04	1 E+07	0,37	1,10E+02	1000	
Tm-170	1,00E+03	1 E+06	—	1,60E+01	100	
Er-171	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	
Tm-171	1,00E+04	1 E+08	1,2	8,60E+01	1000	
Yb-175	1,00E+03	1 E+07	0,31	1,50E+02	100	
Lu-177	1,00E+03	1 E+07	—	9,10E+01	100	
Hf-181	1,00E+01	1 E+06	0	2,20E+01	1	
W-181	1,00E+03	1 E+07	1,8	2,80E+03	10	
Ta-182	1,00E+01	1 E+04	0,091	1,10E+01	0,1	
Os-185	1,00E+01	1 E+06	0,27	7,20E+01	1	
W-185	1,00E+04	1 E+07	0,31	5,30E+02	1000	
Re-186	1,00E+03	1 E+06	0,091	9,20E+01	1000	
W-187	1,00E+02	1 E+06	—	—	10	
Re-188	1,00E+02	1 E+05	—	—	100	
Ir-190	1,00E+01	1 E+06	0,11	—	1	
Os-191	1,00E+02	1 E+07	0,24	6,00E+01	100	

Таблица 1.2.1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7
Pt-191	1,00E+02	1 E+06	0,4	6,70E+02	10	PAO
Os-191m	1,00E+03	1 E+07	—	—	1000	
Pt-193m	1,00E+03	1 E+07	0,3	5,30E+02	1000	
Ir-192	1,00E+01	1 E+04	0,098	4,60E+01	1	
Os-193	1,00E+02	1 E+06	0,17	1,90E+02	100	
Ir-194	1,00E+02	1 E+05	—	1,70E+01	100	
Hg-197	1,00E+02	1 E+07	0,6	1,30E+03	100	
Pt-197	1,00E+03	1 E+06	—	—	1000	
Hg-197m	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	
Pt-197m	1,00E+02	1 E+06	—	—	—	
Au-198	1,00E+02	1 E+06	0,14	1,20E+02	10	
Au-199	1,00E+02	1 E+06	0,31	1,40E+02	100	
Tl-200	1,00E+01	1 E+06	0,69	6,00E+02	10	
Tl-201	1,00E+02	1 E+06	1,4	1,60E+03	100	
Tl-202	1,00E+02	1 E+06	0,3	4,40E+02	10	
Hg-203	1,00E+02	1 E+05	0,072	1,40E+02	10	
Pb-203	1,00E+02	1 E+06	0,57	5,30E+02	10	
Po-203	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Tl-204	1,00E+04	1 E+04	0,11	1,60E+02	1	
Po-205	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Bi-206	1,00E+01	1 E+05	0,072	6,50E+01	1	
Bi-207	1,00E+01	1 E+06	0,11	2,10E+01	0,1	
Po-207	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Bi-210	1,00E+03	1 E+06	0,11	1,2	—	
Pb-210	1,00E+01	1 E+04	0	1,10E-01	—	
Po-210	1,00E+01	1 E+04	0	3,40E-02	—	
At-211	1,00E+03	1 E+07	—	—	1000	
Bi-212	1,00E+01	1 E+05	—	—	—	
Pb-212	1,00E+01	1 E+05	—	—	—	
Rn-220	1,00E+04	1 E+07	—	—	—	
Rn-222	1,00E+01	1 E+08	—	—	—	B
Ra-223	1,00E+02	1 E+05	0,001	1,50E-02	—	
Ra-224	1,00E+01	1 E+05	0,002	3,70E-02	—	
Ra-225	1,00E+02	1 E+05	0,001	1,70E-02	10	
Ra-226	1,00E+01	1 E+04	0	3,00E-02	—	PAO, C
Th-226	1,00E+03	1 E+07	—	—	1000	
Ra-227	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	
Th-227	1,00E+01	1 E+04	0,016	1,10E-02	—	
Ac-228	1,00E+01	1 E+06	—	—	—	
Ra-228	1,00E+01	1 E+05	0	3,10E-02	—	
Th-228	1,00E+00	1 E+04	0,002	2,90E-03	—	
Th-229	1,00E+00	1 E+03	0	1,70E-03	0,1	
Pa-230	1,00E+01	1 E+06	0,15	1,40E-01	10	
Th-230	1,00E+00	1 E+04	0,001	8,80E-03	—	PAO
U-230	1,00E+01	1 E+05	0,003	8,10E-03	10	
Pa-231	1,00E+00	1 E+03	0	8,80E-04	—	
Th-231	1,00E+03	1 E+07	0,4	3,10E+02	—	
U-231	1,00E+02	1 E+07	0,49	3,00E+02	100	
Th-232	1,00E+00	1 E+03	0,001	4,90E-03	—	PAO, C
U-232	1,00E+00	1 E+03	0	1,40E-02	0,1	
Pa-233	1,00E+02	1 E+07	0,16	2,80E+01	10	
U-233	1,00E+01	1 E+04	0,003	3,20E-02	1	PAO



ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Таблица 1.2.1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7
Pu-234	1,00E+02	1 E+07	—	—	100	
Th-234	1,00E+03	1 E+05	0,04	1,50E+01	—	
U-234	1,00E+01	1 E+04	0,003	3,30E-02	—	РАО
Pu-235	1,00E+02	1 E+07	—	—	100	
U-235	1,00E+01	1 E+04	0,003	3,70E-02	—	РАО
Pu-236	1,00E+01	1 E+04	0,002	6,20E-03	1	
U-236	1,00E+01	1 E+04	0,003	3,50E-02	—	РАО
Np-237	1,00E+00	1 E+03	0,001	5,40E-03	1	РАО
Pu-237	1,00E+03	1 E+07	1,4	3,20E+02	100	
U-237	1,00E+02	1 E+06	0,18	6,50E+01	10	
Pu-238	1,00E+00	1 E+04	0,001	2,70E-03	0,1	РАО, С, В
U-238	1,00E+01	1 E+04	0,003	4,00E-02	—	РАО, С, В
Np-239	1,00E+02	1 E+07	0,17	1,10E+02	100	В
Pu-239	1,00E+00	1 E+04	0,001	2,50E-03	0,1	РАО, С, В
U-239	1,00E+02	1 E+06	—	—	100	
Np-240	1,00E+01	1 E+06	—	—	10	
Pu-240	1,00E+00	1 E+03	0,001	2,50E-03	0,1	РАО, С, В
U-240	1,00E+03	1 E+07	—	—	100	
Am-241	1,00E+00	1 E+04	0,001	2,90E-03	0,1	РАО, С, В
Pu-241	1,00E+02	1 E+05	0,029	1,40E-01	10	РАО, С, В
Am-242	1,00E+03	1 E+06	0,46	—	1000	
Cm-242	1,00E+02	1 E+05	0,014	2,10E-02	10	
Pu-242	1,00E+00	1 E+04	0,001	2,60E-03	0,1	РАО
Am-242m	1,00E+00	1 E+04	0,001	—	0,1	РАО
Am-243	1,00E+00	1 E+03	0,001	3,00E-03	0,1	РАО
Cm-243	1,00E+00	1 E+04	0,001	4,00E-03	1	РАО
Pu-243	1,00E+03	1 E+07	—	—	1000	
Cm-244	1,00E+01	1 E+04	0,001	4,60E-03	1	
Pu-244	1,00E+00	1 E+04	0,001	2,60E-03	0,1	
Cm-245	1,00E+00	1 E+03	0,001	2,90E-03	0,1	
Cf-246	1,00E+03	1 E+06	0,042	2,40E-01	1000	
Cm-246	1,00E+00	1 E+03	0,001	2,90E-03	0,1	
Cm-247	1,00E+00	1 E+04	0,001	3,20E-03	0,1	
Cf-248	1,00E+01	1 E+04	0,005	1,40E-02	1	
Cm-248	1,00E+00	1 E+03	0	8,20E-04	0,1	
Bk-249	1,00E+03	1 E+06	0,24	7,70E-01	100	
Cf-249	1,00E+00	1 E+03	0	1,80E-03	0,1	
Cf-250	1,00E+01	1 E+04	0,001	3,60E-03	1	
Cf-251	1,00E+00	1 E+03	0	1,70E-03	0,1	
Cf-252	1,00E+01	1 E+04	0,002	5,60E-03	1	
Cf-253	1,00E+02	1 E+05	0,098	8,10E-02	100	
Es-253	1,00E+02	1 E+05	0,022	4,00E-02	100	
Cf-254	1,00E+00	1 E+03	0	2,70E-03	1	
Es-254	1,00E+01	1 E+04	0,005	1,40E-02	0,1	
Fm-254	1,00E+04	1 E+07	—	—	10000	
Es-254m	1,00E+02	1 E+06	0,033	2,30E-01	10	
Fm-255	1,00E+03	1 E+06	—	—	100	

\* Роль, которую играет радионуклид, исходя из практической деятельности по использованию атомной энергии и необходимости проведения мероприятий по радиационной защите (В – выбросы, С – сбросы, РАО – радиоактивные отходы). Если для радионуклида приведены два или три направления, то они указаны в порядке снижения их значимости. Отсутствие записи в графе означает, что в настоящее время не возникает реальных потребностей в проведении мероприятий по радиационной защите.

ществ, и на радиоактивные отходы (рис. 1.2.1). Задача этого регулирования — обеспечить безопасность персонала, населения и окружающей среды при всех путях поступления радиоактивных веществ.

Границы регулирования (табл. 1.2.1) четко установлены нормами радиационной безопасности [25, 26]. Эти границы определяются:

- значениями МЗУА и МЗА, определяющими границы распространения (действия) норм радиационной безопасности;
- значениями УВ, ДОАнас., определяющими минимальные границы для вмешательства по отношению к питьевой воде и среднегодовую активность радионуклидов в воздухе для населения.

Отметим также, что эти граничные значения устанавливаются исходя из следующей совокупности данных: параметры метаболизма, дозовые коэффициенты и возможные сценарии облучения. Среди этой совокупности нет такого критерия, как количественные объемы образования. Для многих радионуклидов они крайне малы, поэтому на практике осуществляется учет и контроль существенно меньшего числа радионуклидов и/или их смесей. В табл. 1.2.1 выделены отдельные радионуклиды, особо значимые при рассмотрении того или иного аспекта радиационной безопасности, в том числе в формировании выбросов (В), сбросов (С) и в проблеме РАО (РАО). Заметим также, что радиоактивные вещества, как и обычные стабильные вещества, обладают и широким набором иных химических свойств, зачастую определяющих их вред для здоровья человека и окружающей среды. Эти свойства достаточно хорошо изучены [27] и учитываются в радиационном нормировании.

Рассмотрим перечень радионуклидов, значимых для регламентирования радиационной безопасности. Из нуклидов, приведенных в табл. 1.2.1, значимая часть имеет очень короткий период полураспада. Некоторые радионуклиды существуют только в газообразной форме (инертные радиоактивные газы, например). Поэтому в рамках технологических процессов происходит естественный процесс их разделения.

Как видно из данных табл. 1.2.1, из нескольких сотен радионуклидов, для которых регламентируются те или иные параметры, ключевым для решения практических задач радиационной безопасности оказывается существенно меньшее их число — всего около 60, из них 31 в отношении к РАО. Это связано с принципиальными отличиями в предпосылках, на которых основываются все нормативные пороговые значения, и конкретных условиях (технологических и иных) образования состава выбросов, сбросов или радиоактивных отходов. В первом случае предпосылки идут из фундаментальных основ дозиметрии, во втором — из практической деятельности, для которой характерны свои соотношения радионуклидов. Иллюстрацией служит (рис. 1.2.2) рассмотрение характерной смеси жидких отходов, образующихся при эксплуатации реактора в разрезе категорий жидких отходов, предусмотренных ОСПОРБ-99/2010. Тем не менее, основой регулирования является обширная таблица 1.2.1, и такой подход является неизменным.

В радиационном нормировании также широко применяется понятие риска и вреда. Для целей радиационной защиты принимается допущение, что риск не равен нулю при любой, сколь угодно малой, дозе. Для наиболее полной оценки вреда, который может быть нанесен здоровью в результате облучения, определяется ущерб, количественно учитывающий как эффекты облучения отдельных органов и тканей тела, отличающихся радиочувствительностью к ионизирующему излучению, так и всего организма в целом. В соответствии с общепринятой в мире для целей радиационной защиты линейной беспороговой концепцией зависимости риска стохастических эффек-

тов от дозы, величина риска пропорциональна дозе излучения и связана с дозой через линейные коэффициенты радиационного риска. Эти коэффициенты также определены в НРБ [25] для двух видов эффектов: риска злокачественных новообразований и риска наследственных эффектов.

Нормативные значения задаются в нескольких разрезах — для всего населения, персонала и взрослых, по сферам применения.

Усредненная величина коэффициента риска, используемая для установления пределов доз персонала и населения, принята равной 0,05 на 1 Зв. Для условий нормальной эксплуатации источников ионизирующего излучения установлены пределы доз облучения в течение года и привязанные к ним значения индивидуального пожизненного риска для персонала и населения. Уровень пренебрежимо малого риска определен величиной  $10^{-6}$ .

Для обоснования защиты от источников потенциального облучения в течение года также установлены граничные значения обобщенного риска (произведение вероятности события, приводящего к облучению, и вероятности смерти, связанной с облучением): персонал —  $2,0 \cdot 10^{-4}$ , год<sup>-1</sup>; население —  $1,0 \cdot 10^{-5}$ , год<sup>-1</sup>. Эти нормативные значения основаны на отчетах и рекомендациях международных организаций [28], которые в свою очередь базируются на данных исследований японской когорты лиц, переживших атомные бомбардировки. Когорта, первоначально сформированная в 1950 г., получила название Life Span Study (LSS) — пожизненное исследование. Последние Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) 2007 г. [24] основаны на исследовании за период наблюдения 1958–1998 гг. [29].

Развернутые модели рисков, учитывающие детальную структуру дозовых нагрузок для различных форм злокачественных новообразований, также развиваются. Ведущими центрами исследований в этой области являются Национальный комитет по биологическим эффектам ионизирующей радиации США (модели BEIRBIV, V, VI, VII) [30] и Агентство по охране окружающей среды США [31], которые в значительной мере также опираются на те же японские данные. Определенный вклад в эти работы дают и российские специалисты [32].

Отметим также, что Агентство по охране окружающей среды США — это, по сути, единственный заказчик работ, в которых рассматриваются вопросы разработки моделей и оценки рисков, связанных и с химически вредными факторами (разд. 1.1), и с радиационным воздействием. При этом в области радиационных рисков речь идет о тонких эффектах и фундаментальных исследованиях.

На практике радиационные риски находят свое подтверждение только в случаях экстремально высоких доз облучения, больших когорт (японская когорта, когорта

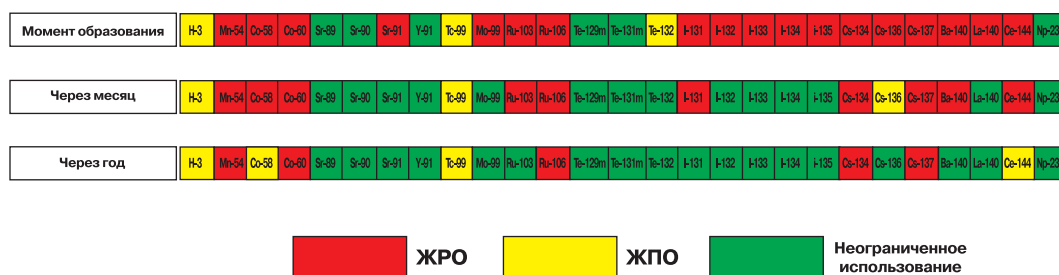


Рис. 1.2.2. Принадлежность к какой-либо категории жидких отходов для смеси радионуклидов, характерных для реакторов ВВЭР

жителей реки Теча, лейкозы среди ликвидаторов и раки щитовидной железы детей в Чернобыле [33]) и в результате тщательнейших радиационно-эпидемиологических исследований [34].

В условиях нормального функционирования предприятий атомной отрасли выявить повышенные риски для персонала и населения в районах их размещения на основе данных официальной медико-демографической статистики принципиально невозможно.

Причины этого имеют фундаментальный характер — величины дополнительных (атрибутивных) рисков чрезвычайно низки. Но даже в условиях крупных аварий установить и обосновать факт роста онкозаболеваемости и смертности вследствие радиационного фактора крайне трудно. Одна из причин этого — статистические погрешности.

Атрибутивный (обусловленный) риск, как известно, представляет собой отношение дополнительных к спонтанным случаев смерти (заболевания) к числу наблюдаемых (с учетом радиационного воздействия) случаев:  $AR = (m - m_0) / m$ , где  $m_0$  — ожидаемое (спонтанное) число случаев,  $m$  — наблюдаемое число случаев.

Очевидно, что атрибутивный риск статистически значимо отличается от нуля тогда и только тогда, когда наблюдаемое число случаев в облучаемой когорте статистически значимо отличается от наблюдаемого в контроле. Иными словами, число радиационно-обусловленных случаев смерти (заболевания) должно статистически значимо превышать погрешность, с которой определяется число умерших (заболевших) за год (обычно) людей в наблюдаемой/контрольной группе. Но и для России, и для других стран характерны чрезвычайно широкие отличия в региональной структуре показателей заболеваемости и смертности, обусловленные уровнем и условиями жизни, природными факторами, в том числе биогеохимическим составом почв, региональными и национальными особенностями питания, особенностями загрязнения окружающей среды и многими другими причинами.

В качестве примера, иллюстрирующего это обстоятельство, на рис. 1.2.3 приведены данные по нескольким показателям смертности в областях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС, и контрольной Рязанской области. В работе [35] главным образом рассматривалась общая

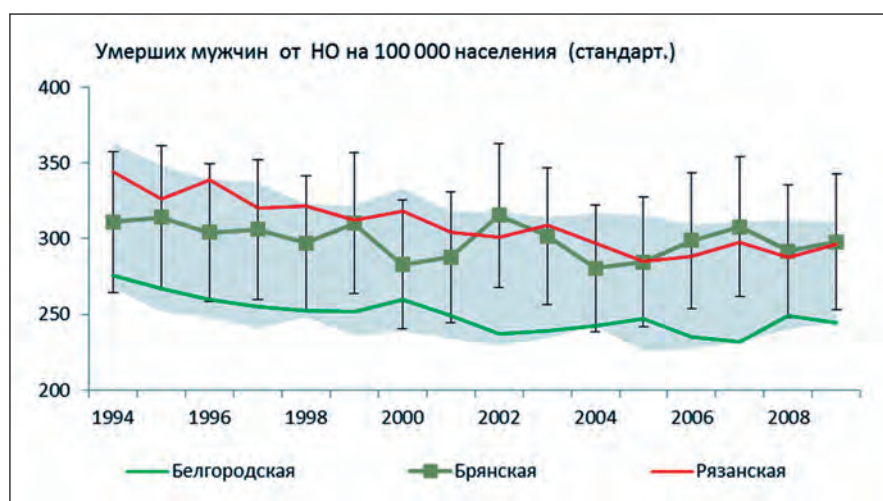


Рис. 1.2.3. Стандартизованный коэффициент смертности от новообразований (НО) для мужского и женского населения в Белгородской, Брянской и Рязанской областях, 1994–2009 гг.

смертность, смертность от новообразований для мужского и женского населения и младенческая смертность от врожденных пороков развития (врожденных аномалий).

Наконец, для целей радиационной защиты используются и стоимостные показатели ущерба, наносимого облучением. В частности, для обоснования расходов на радиационную защиту в рамках реализации принципа оптимизации принимается, что облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере примерно 1 чел.-года жизни населения с денежным эквивалентом в размере не менее 1 годового душевого национального дохода. При этом указывается, что эта величина устанавливается отдельными документами федерального уровня.

В целом современная система нормирования обеспечивает должный уровень защиты персонала, населения и окружающей среды от радиационного воздействия. Вопросы совершенствования системы нормирования и, в особенности, развития нормативно-правового обеспечения захоронения РАО будут рассмотрены в последующих разделах.

### **1.2.2. Выбросы и сбросы радионуклидов**

Как и другие области регулирующей деятельности, регулирование выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду претерпело существенную эволюцию. При этом эволюция в этой области шла гораздо быстрее, чем в сфере обращения с радиоактивными отходами. Кратко рассмотрим, как менялись подходы в отношении регламентации и контроля поступления радиоактивных веществ в окружающую среду и каково современное состояние регулирования.

Один из путей поступления техногенных радионуклидов в окружающую среду — выброс радиоактивных веществ в атмосферу. Часть этих веществ довольно долго находится в газообразной форме: инертные радиоактивные газы (ИРГ) — фактически все время своего существования;  $^{14}\text{C}$  и  $^3\text{H}$  довольно долго могут существовать в виде газа, прежде чем попадут и задержатся в каком-либо объекте биосферы. Значительная часть газообразных продуктов либо изначально существует в виде аэрозолей, либо достаточно быстро связывается с ними в процессе распространения в воздушной среде. Физико-химические свойства радиоактивных веществ, попадающих в атмосферу в результате планируемых выбросов или аварийных ситуаций, имеют важное, а порой и определяющее значение при оценках возможности их попадания в организм человека. При перемещении радиоактивных веществ с воздушными потоками возможны три пути воздействия на биоту и человека:

- внешнее облучение от радиоактивного облака;
- внутреннее облучение за счет ингаляционного попадания в организм;
- внутреннее облучение за счет перорального попадания в организм.

Вместе с тем, при разработке нормативных документов подобные расчеты не всегда играют главенствующую роль, и зачастую величины допустимых выбросов определяются исходя из других критериев, например, удобства контроля.

Рассмотрим кратко эволюцию нормирования газоаэрозольных выбросов.

Система нормирования газоаэрозольных выбросов (и жидких сбросов) развивалась и совершенствовалась в нашей стране параллельно с развитием атомной энергетики. На предприятиях ядерного цикла, безусловно, существовали ограничения на сбросы и выбросы радиоактивных веществ в окружающую среду. Однако в силу закрытости этих предприятий нормативная база также носила отпечаток особой секрет-



ности. Нормирование выбросов и сбросов атомных станций стало в СССР первым шагом открытого общественного обсуждения о допустимых уровнях радиационного воздействия на окружающую природу и человека.

Первым документом, регламентирующим газоаэрозольные выбросы АЭС, явились «Санитарные правила проектирования атомных станций СП АЭС-68» [36]. В СП АЭС-68 были установлены следующие предельно допустимые выбросы (табл. 1.2.2).

Таблица 1.2.2

**Предельно допустимые выбросы с АЭС согласно «СП АЭС-68»**

Радионуклид	Ки/сут.	Ки/год
ИРГ ( $T_{1/2} \geq 10$ минут)	3500	$1,28 \cdot 10^6$
Сумма долгоживущих нуклидов с $T_{1/2} \geq 24$ ч (кроме I-131, Sr-89 и Sr-90)	0,5	182,5
I-131 (все фазы)	0,1	36,5
Sr-89 + Sr-90	0,001	0,365

В 1973 г. Государственный комитет по использованию атомной энергии СССР совместно с Главным управлением гидрометеорологической службы и Минздравом СССР ввел в действие методы расчета предельно допустимых выбросов [37]. Введение таких норм и контроль за их соблюдением привели к существенному снижению выбросов за счет использования различных технологических мероприятий и средств газоочистки.

Важнейшим этапом в области нормирования стало введение в действие Норм радиационной безопасности (НРБ-76) [38], явившихся основополагающим документом для всех последующих нормативных разработок. В этом документе в основу были положены следующие принципы, вытекающие из общей концепции нормирования в тот период:

- непревышение регламентированных дозовых пределов;
- исключение всякого необоснованного облучения;
- снижение дозы излучения до возможно низкого уровня.

Годовой предел дозы регламентировался для ограниченной части населения. Он устанавливался не для индивида, а для критических групп, воздействие на которые представляло наибольшую потенциальную опасность. При этом допустимые дозы облучения нормировались дифференцировано для различных органов и тканей человека в зависимости от их относительной радиочувствительности. НРБ-76 устанавливали три группы таких органов.

Наряду с основным дозовым пределом НРБ-76 регламентировали ряд допустимых уровней, среди которых пределы годового поступления (ПГП) радиоактивных веществ через органы дыхания и пищеварения, а также допустимая концентрация ДКБ радионуклида в атмосферном воздухе и воде. Их соблюдение для предприятий также было обязательным.

Кроме того, для категории Б (персонал и ограниченная часть населения, не работающие с источниками ионизирующего излучения) на предприятиях должны были устанавливаться контрольные уровни, исходя из:

- необходимости сохранения достигнутого уровня радиационного воздействия в данном учреждении ниже допустимого уровня;

— неравномерности радиационного воздействия во времени, например при периодических работах, нестационарном режиме работы и т. п.

Нормирование от достигнутого уровня (концепция ALAP) в тот период (разработки новых проектов и улучшения технологий) носило, в целом, прогрессивный характер. С другой стороны, это закладывало мину замедленного действия под фундамент разработки будущих ядерных технологий и их широкое применения в хозяйственной деятельности, делая их с определенного момента неконкурентоспособными.

Следующий шаг в ужесточении нормативов был сделан в СП АЭС-79 [39]. Он был направлен на ужесточение пределов доз (ПД) для ограниченной части населения, кроме того, впервые были произведено квотирование для выбросов и сбросов (табл. 1.2.3).

Таблица 1.2.3

Годовые пределы эквивалентных доз (ПД) ограниченной части населения, обусловленных радиоактивными отходами АЭС, мкЗв

Радиоактивные отходы	Группа критических органов		
	I	II	III
Газоаэрозольные выбросы	200	600	1200
Жидкие сбросы на отдельные виды водопользования	50	150	300
ВСЕГО:	250	750	1500

Введение квотирования для сбросов и выбросов обосновывалось следующими основными доводами:

- признанием беспороговой зависимости «доза — эффект» и рекомендуемого принципа ALARA;
- фактическими дозами на население от эксплуатируемых АЭС;
- необходимостью учета перспективных планов интенсивного развития энергетики в густонаселенных районах страны;
- наличием (скорее потенциальным) других источников загрязнения биосферы радиоактивными веществами.

Конечно, в практическом плане достигнутый уровень выбросов и сбросов был определяющим при выборе величины квоты. В принципе, выделенная квота в 250 мкЗв/год могла бы рассматриваться как контрольный уровень годовой дозы на 1 группу критических органов. Однако авторы намеренно ужесточили юридическую сторону уровня, назвав его «пределом дозы».

И НРБ и СП АЭС в тот период не нормировали число неблагоприятных эффектов или вероятность их появления. Это было связано как с трудностями математической формализации понятия «неблагоприятный эффект» (т. е. установления количественной связи между загрязнением среды и состоянием здоровья населения), так и с трудностями практического контроля. Уместно здесь заметить, что вопросы нормирования и контроля нормируемых величин являются двумя сторонами одной медали.

В качестве основы нормирования в отечественных нормативных документах используется доза как формализованная первопричина эффекта. Однако с точки зрения контроля и эта категория из-за малости величин по сравнению с фоном оказыва-

ется малоудобной. Тогда, естественно, возникла потребность в нормировании физических параметров, создающих дозу и поддающихся контролю, таких как концентрация радионуклидов в воздушных и водных средах, выбросы и сбросы радионуклидов во внешнюю среду и т. п. В нормировании этих параметров имелись свои особенности. При определении тех или иных нормируемых величин приходилось применять ряд допущений и использовать консервативный подход в расчетах в целом.

Опыт преодоления радиационных аварий показал, что в имевших место конкретно-исторических условиях радиационное воздействие вряд ли превышало воздействие на здоровье других значимых факторов, таких как страх перед радиацией (часто ставший постоянным), принудительное изменение жизненных условий, рациона питания, изменение химического состава питьевой воды и др. [32, 40]. Малые величины доз, строго говоря, могут не соответствовать размеру фактического ущерба здоровью, обусловленного всеми этими факторами, и не находиться в прямой связи с нанесением такого ущерба. На еще большей дистанции от ущерба могут находиться производные величины. Хотя сами они и связаны количественно с величиной дозы, последняя в значительной степени зависит от выбора сценария облучения. В частности, такая производная от дозы величина, как допустимая концентрация вещества в воздухе, гораздо более консервативна, поскольку предполагает при своем расчете целый ряд допущений, например, постоянную в течение года концентрацию вещества в воздухе.

Переход от допустимой концентрации к следующей производной величине — допустимому выбросу — также сопряжен с внесением заметного консерватизма. При жестком закреплении величины дозовой нагрузки на население, проживающее вблизи радиационно опасного объекта, разнообразие возможных сценариев облучения может на порядки величин изменять оценки допустимых выбросов отдельных радионуклидов. Другой пример: при нормировании газообразных выбросов радиоактивного йода (например,  $^{131}\text{I}$  как наиболее биологически значимого радионуклида при нормальной эксплуатации АЭС) следовало бы различать ситуации, когда АЭС расположена в зоне активного ведения мясомолочного производства или же, в случае плавучей АЭС, когда она находится в нескольких километрах от береговой линии. Все эти обстоятельства объективно создают дилемму и противоречия между разработчиками нормативных величин и производителями: с одной стороны, нормируемая величина должна быть достаточно просто контролируема, а с другой — производитель должен оптимизировать затраты на выполнение нормативных требований по воздействию на окружающую среду и население.

Разработчики СП АЭС-79, опираясь на достигнутый опыт и некоторые обобщенные оценки возможного влияния выбросов на дозовые нагрузки, нормативно закрепили размеры дозовой квоты на АЭС и среднесуточные и среднемесячные допустимые выбросы наиболее значимых веществ (табл. 1.2.4). В табл. 1.2.4:

1. Под термином ИРГ понимается любая смесь инертных радиоактивных газов — изотопов аргона, криптона и ксенона.

2. Смесь долгоживущих нуклидов названы радиоактивные аэрозоли, экспонированные на фильтре в течение одних суток и измеренные через одни сутки после снятия пробы; при необходимости период экспонирования фильтра может быть изменен.

3. Смесь короткоживущих радионуклидов названы радиоактивные аэрозоли, экспонированные на фильтре в течение одних суток и измеренные через S часа после снятия пробы; при необходимости период экспонирования фильтра может быть изменен.

4. Допускается однократный (или суточный) выброс радионуклидов, превышающий в 5 раз приведенный в таблице среднесуточный допустимый выброс при условии, что суммарный выброс за один квартал не превысит соответствующего расчетного значения.

Из приведенных выше пояснений к табл. 1.2.4 видно, что при установлении предельных выбросов сделана попытка обеспечить гибкость регулирования. Это было возможно в том числе потому, что дозовый предел не достигался даже при самых неблагоприятных сценариях облучения в условиях нормальной эксплуатации АЭС.

Имеющийся запас прочности позволял разработчикам нормативов широко использовать принцип нормирования «от достигнутого уровня».

Таблица 1.2.4

Среднесуточные и среднемесячные допустимые выбросы в СП АЭС-79

Нуклид	Размерность	$N=1000-6000 \cdot \text{МВт}(\text{э})$ МБк/сут. 1000 МВт(э)	$N=6000 \cdot \text{МВт}(\text{э})$ МБк/сут. АЭС
ИРГ	МБк/сут.	1,85 E+7	1,11 E+8
Йод (газовая и аэрозольная фаза)		370	2,22 E+3
Долгоживущие		555	3,33 E+3
Короткоживущие		7,4 E+3	4,44 E+3
$^{90}\text{Sr}$	МБк/мес.	55,5	333
$^{89}\text{Sr}$		555	3330
$^{137}\text{Cs}$		555	3330
$^{60}\text{Co}$		555	3330
$^{54}\text{Mn}$		555	3330
$^{51}\text{Cr}$		555	3330

Параллельно разработке и внедрению СП АЭС-79 шло дальнейшее совершенствование «Временных методических указаний по расчету предельно допустимых выбросов радиоактивных продуктов в атмосферу промышленными предприятиями и энергетическими установками» (ПДВ-73), что отражено в монографии [42].

В методических указаниях предельно допустимый выброс (ПДВ) определялся как произведение коэффициента метеорологического разбавления ( $K_p$ ) на значение допустимой концентрации вещества в атмосферном воздухе (ДК):  $\text{ПДВ} = K_p \times \text{ДК}$ .

Значительное место занимают методы расчета коэффициента разбавления  $K_p$ , в определенной степени отражая неоднозначность и сложность перехода от допустимой концентрации к ПДВ. С другой стороны, методические указания усиливают консервативность, так как наряду с ПДВ указывается на необходимость введения контрольных (рабочих уровней) выбросов вредных веществ в атмосферу, которые были бы существенно меньшими, чем ПДВ. Следует отметить, что в этот период оптимизация затрат являлась скорее второстепенной задачей, важнее было решить политические установки, которые состояли в том, что советские АЭС должны быть лучшими в мире по всем показателям.

Разработке принципов и методов получения системы контрольных и рабочих уровней выбросов ИРГ был посвящен цикл работ, выполнявшихся в ИБФ Минздрава СССР в период 1980–1986 гг. в рамках закрытой тематики. В основу разработки были заложены принципы технического нормирования. Реализация предложений ИБФ была осуществлена на АЭС с реакторами РБМК-1000, у которых выбросы ИРГ были примерно на порядок величины выше, чем у АЭС с реакторами ВВЭР (табл. 1.2.5).

Таблица 1.2.5

**Допустимые и контрольные уровни газоаэрозольных выбросов для АЭС с реакторами типа РБМК в пересчете на 1 блок мощностью 1000 МВт(э) в СССР**

Радионуклиды и их смесь	Размерность	Атомная станция			СП АЭС-79
		Ленинградская	Курская	Смоленская	
<b>Допустимый выброс</b>					
ИРГ	ГБк/сутки	14800	18500	18500	18500
Короткоживущие		8,3	7,4	7,4	7,4
Долгоживущие		0,11	0,555	0,555	0,555
Йод-131		0,46	0,37	0,37	0,37
<b>Контрольные уровни выбросов</b>					
ИРГ	ГБк/сутки	7860	11100	12950	—
Короткоживущие		4,2	3,7	5,55	—
Долгоживущие		0,056	0,37	0,74	—
Йод-131		0,11	0,28	0,3	—

Как видно, вся система нормирования того периода носила узковедомственный характер, ориентированный на возможности каждого отдельного предприятия. Так, контрольный уровень выброса долгоживущих радионуклидов для Смоленской АЭС был даже выше допустимого выброса. Можно сказать, что в какой-то мере консервативность расчета производных величин достигла технических возможностей предприятий, при том, что реальная безопасность населения от выбросов была обеспечена с большим запасом.

Методология оценки дозовых нагрузок от газоаэрозольных выбросов активно развивалась в годы строительства атомных станций. Как уже отмечалось, основные исследования были направлены на совершенствование методов расчета распространения радиоактивных веществ в приземном слое атмосферы. Этапным стало появление нормативного документа «МХО Интератомэнерго-84», закрепляющего значения многих параметров, необходимых для выполнения расчетов по распространению [43].

Впоследствии в несколько доработанном виде эта методология была использована при подготовке «Руководства по установлению допустимых выбросов ДВ-98» [44].

Определенные новации в области нормирования были привнесены в разработку СП АЭС-2003 [45]. Первая новация коснулась квотирования, т. е. выделения дозы под АЭС. В СП АЭС-03 указывается, что «значения соответствующих квот на облучение населения используются для расчета предельно допустимых выбросов (ПДВ) радионуклидов с АС в атмосферу и предельно допустимых сбросов (ПДС) радионуклидов в поверхностные воды» [45]. В документе квота осталась неизменной по уже дей-



ствующим АЭС и уменьшена в 2,5 раза для проектируемых и строящихся АЭС. При этом документ не оговаривал, что понимать под строящейся АЭС: новую площадку или же новые блоки, вводимые на уже существующих площадках вместо выводимых из эксплуатации. Практика установления более жестких нормативов для новых предприятий является в мире общепринятой, однако в данном случае произошло ужесточение нормативов, которые и так были установлены со значительным запасом. Показательно, что ужесточение коснулось именно газоаэрозольных выбросов, а квота на жидкие сбросы осталась неизменной. Еще одна новация связана с отказом от нормирования «короткоживущих» и «долгоживущих» нуклидов и переходом к нормативным величинам по отдельным нуклидам, количество которых по сравнению с предыдущими санитарными правилами было сокращено. Это явилось позитивным изменением, показывающим движение регулирующей деятельности в правильном направлении. К этому времени технические возможности определения изотопного состава возросли, а при нормальной работе АЭС лишь небольшое число нуклидов оказывает влияние на формирование дозы облучения.

Следующая важная новация — это введение наряду с ПДВ и ПДС допустимых величин выброса и сброса ДВ и ДС, которые рассчитываются в документе, «исходя из дозы облучения населения 10 мкЗв в год». В данном случае необходимость введения ДВ и ДС не очевидна, за исключением того случая, когда подобные величины вносятся администрацией предприятия в виде контрольных уровней. Ведь с точки зрения выполнения требований Федерального закона «О радиационной безопасности населения» [46] и норм радиационной безопасности уже введены санитарными правилами два дополнительных барьера в виде квоты (1-й барьер) и консерватизма в переходе от дозы к ПДВ (2-й барьер). Рассмотрим эволюцию ДВ в трех последовательных санитарных правилах (табл. 1.2.6). Для удобства сравнения приведем все величины к годовому выбросу.

Видно, что в СП АЭС-2003 норматив зависит от типа реактора, что отражает принцип нормирования от достигнутого: АЭС с реакторами типа ВВЭР дают меньшие выбросы, значит, нормы для них должны быть жестче. Однако при таком подходе не менее очевидна и оторванность от дозы, выражающей степень воздействия на здоровье.

На протяжении весьма длительного времени регулирование выбросов и сбросов происходило обособленно. Сбросы рассматривались отдельно, а поступление в них радиоактивных веществ ограничивалось из соображений, связанных, главным образом, с безопасностью человека. На определенном этапе регулирование сбросов и выбросов было объединено в одном нормативном документе.

Таблица 1.2.6

Сравнение допустимых выбросов в различных СП АЭС

Нормативный документ	Тип реактора	Радионуклиды или их смесь, ТБк/год		
		ИРГ	Йод-131	Цезий-137
СП АЭС-68	Любой	47268	1,35	6,75*
СП АЭС-79	Любой	40515	0,81	0,04
СП АЭС-03	РБМК	3700	0,093	0,004
	ВВЭР	690	0,018	0,002

\* Здесь нормировались долгоживущие нуклиды.

Первый наиболее полный перечень путей поступления радиоактивных веществ из водного объекта в организм человека приведен в документе МАГАТЭ [47], где рассматривается проблема удаления радиоактивных отходов в водные объекты. В этом документе указывалось, что для проведения практических расчетов количество потенциальных путей облучения должно быть снижено с учетом специфики ситуации и наличия соответствующих экспериментальных данных.

В открытой печати материалы по проблемам сбросов стали появляться в 70-х годах прошлого века. Общая методология оценки воздействия радиоактивных веществ, находящихся в водоемах, на организм человека была представлена в работах [48—50].

В основу разработки соответствующей методики была положена прогностическая оценка радиационной обстановки в водоеме и других средах (пойме, полях орошения или полива, пляжа и т. п.), которая сложится в результате непрерывного длительного сброса в водоем сточных вод, содержащих радиоактивные вещества, в количестве, равном ПДС (предельно допустимое содержание). В [50] были сформулированы основные требования к методике расчета предельно допустимых сбросов, из которых с точки зрения современных взглядов на систему обеспечения радиационной безопасности наиболее важным является следующий: индивидуальные дозы облучения органов и тканей для критических групп населения<sup>1</sup> за счет каждого отдельного вида водопользования не должны превышать выделенной квоты от предела дозы.

Воздействие ионизирующего излучения на организм человека за счет реализации различных видов водопользования было структурировано следующим образом:

- внешнее облучение (купание, рыбная ловля и плавание на лодке, пребывание на пляже, пребывание на заливных землях, пребывание на орошаемых землях);
- внутреннее облучение (питьевая вода, потребление рыбы, водопой и выпас скота: потребление мяса и молока скота, потребление овощей, загрязненных в результате поливного земледелия).

В дальнейшем ключевые положения [50] были развиты и реализованы в виде методических документов [51].

Отмечая зарубежный опыт в области оценки воздействия находящихся в водных объектах радионуклидов на организм человека, необходимо выделить документ, изданный в рамках Серии по безопасности МАГАТЭ [52], и исследование, посвященное оценке риска для здоровья человека, возникшего результате радиоактивного загрязнения реки Клинч, в которую осуществлялись сбросы радиоактивных веществ площадкой Ок-Ридж во время реализации «Манхэттенского проекта» [53].

В [54] отмечается, что во многих случаях эффективные дозы в популяции оцениваются только для взрослых лиц. Это связано с тем, что для других возрастных групп данные по концентрациям радионуклидов в тканях не всегда полностью доступны.

Тем не менее, в настоящее время МКРЗ располагает дозовыми коэффициентами, зависящими от возраста [59]. Соответствующие расчеты необходимо проводить для следующих категорий населения:

- новорожденные дети до 1 года ( $n=1$ );
- дети в возрасте 1—2 года ( $n=2$ );
- дети в возрасте 2—7 лет ( $n=3$ );

<sup>1</sup> В соответствии с [55], под критической группой понимается группа лиц из населения (не менее 10 человек), 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.

- дети в возрасте 7–12 лет ( $n=4$ );
- дети в возрасте 12–17 лет ( $n=5$ );
- взрослые (старше 17 лет) ( $n=6$ ).

Наряду с различием в значениях дозовых коэффициентов для различных групп населения существенным моментом при оценке доз является различная интенсивность годового поступления пищи, воды и воздуха. НКДАР ООН приводит [60] усредненные (по миру) значения потребления различных продуктов питания и воздуха для различных критических групп, которые допустимо использовать при расчете референтных оценок дозовой нагрузки.

В 2010 г. была организована работа по подготовке новой методики расчета допустимых выбросов и сбросов. В настоящее время она находится на стадии согласования. Отметим, что ее разработка и обсуждение были в значительной степени затруднены в силу коллизий, связанных с критериями отнесения к ЖРО и ГРО, реализованных в ОСПОРБ-99/2010.

Со временем одной из заметных тенденций стало вовлечение в рассмотрение проблематики сбросов вопросов радиационного воздействия на водные биообъекты. В настоящее время основные существующие схемы и принципы оценки воздействия радионуклидов на водные биообъекты можно классифицировать следующим образом:

- динамические камерные модели накопления радионуклидов [61–63];
- модели расчета дозовых нагрузок, учитывающие геометрические особенности гидробионтов и тип излучения [63–65].

Существующие подходы к оценке доз облучения для гидробионтов являются довольно развитыми с точки зрения используемого математического аппарата. При этом остаются проблемы адаптации теоретических разработок для корректного расчета дозовых нагрузок на водную биоту в реально сложившихся экосистемах. Ограниченный объем экспериментальных данных о динамике накопления и распределения радионуклидов между биотическими компонентами экосистемы (исчерпывающий набор данных, позволяющий моделировать многообразие жизнедеятельности и геометрических форм биообъектов, получить невозможно) обуславливает использование консервативных оценок, часто приводящих к завышению результата. Это необходимо учитывать при анализе экологической безопасности водоемов, содержащих радиоактивные вещества, и выработке подходов к нормированию радиационного воздействия на объекты окружающей среды.

Проведенные в последние годы исследования показывают [15], что предприятия, применяющие ядерные технологии, не оказывают значимого влияния на формирование доз облучения биологических видов. Полученные значения мощностей доз облучения референтных видов биоты в 2011 г. не превышают  $1 \cdot 10^{-10}$  Гр/ч, что на несколько порядков ниже пределов безопасных дозовых нагрузок на разные группы организмов, обитающих в наземных и водных экосистемах. В зоне воздействия предприятий не ожидается проявление детерминированных радиационных эффектов, влияющих на жизнеспособность, репродуктивность и продолжительность жизни представителей наземной и водной флоры и фауны. Более того, в 2011–2012 гг. опубликовано [56–58] несколько работ, отражающих результаты многолетних исследований вопросов устойчивости гидробионтов и экосистем водоемов к радиоактивным и химическим загрязнителям в условиях их высоких концентраций. Речь идет о промышленных водоемах «Маяка». Отметим только, что работа уральских ученых [58] является одной из самых кропотливых и свежих. Об основе — так называемом уровне вме-

шательства. Использование в качестве базы значений, кратных УВ, позволяет учесть особенности метаболизма и уровень опасности нуклида, по крайней мере, для млекопитающих (табл. 1.2.7).

Таблица 1.2.7

**Уровни радиационного загрязнения и состояние экосистем промышленных водоемов**

Водоем	Удельная активность $^{90}\text{Sr}$ в воде, Бк/л	Расчетные значения диапазона изменения суммарной мощности поглощенной дозы для гидробионтов, мГр/сут.	Состояние экосистемы
В-11	$10^3$	1–5	Типичное для водоемов Южного Урала
В-17	$10^5$	40–2000	Регистрируются признаки угнетения
В-9	$10^6$	4000–40000	Биоценоз практически отсутствует

Необходимость установления критериев экологической безопасности зафиксирована в Федеральном законе «Об охране окружающей среды» [66], однако в действующих федеральных нормах и правилах в области обеспечения безопасности при использовании атомной энергии это требование своего развития в явном виде не нашло.

С практической точки зрения такие критерии могли бы рассматриваться как полезные только для тех случаев, когда имеют место процессы концентрирования в биосфере. По причинам фундаментального характера эти процессы могут происходить только в силу поверхностного стока и в трофических цепях. В наибольшей степени они реализуются в цепочке «вода — донные отложения — гидробионты». Для стронция, например, коэффициент концентрирования может достигать тысячи раз, а для цезия — десятков тысяч раз.

В целом сегодня существуют доводы в пользу того, что корректно (то есть в виде, допускающем использование в рамках нормативного документа) решить задачу нормирования радиационного воздействия на объекты окружающей среды в настоящее время не представляется возможным [61].

При разработке [51] в качестве одного из критериев определения допустимого сброса планировалось учесть фактор воздействия на биоту, однако в итоговый вариант документа это требование вошло только в качестве рекомендации в приложении «Обоснование сохранения благоприятной окружающей среды».

Существующие нормативы поступления радионуклидов в рамках допустимых сбросов и выбросов «по умолчанию» базируются на применении антропоцентрического подхода, сформулированного МКРЗ, чьи рекомендации лежат в основе законодательства по охране окружающей среды от радиационного воздействия большинства стран с развитой атомной индустрией. Позиция МКРЗ в отношении радиационной защиты окружающей среды изложена в параграфе 16 «Публикации 60» [67]: «Комиссия считает, что нормы контроля окружающей среды, необходимые для защиты человека в той мере, которая в данное время признается желательной, обеспечат безопасность и других биологических видов, хотя случайно их отдельным особям может быть причинен вред, но не до такой степени, которая представляла бы опасность

для всего вида или нарушала бы баланс между видами». То есть подразумевается принцип, что если защищен человек, то защищена и природа.

Начиная с последнего десятилетия XX века в научно-техническом сообществе наметилась тенденция к переходу от державшегося долгое время антропоцентрического подхода к подходам, учитывающим радиационное воздействие на окружающую среду, и, в первую очередь, на ее биотический компонент. Серьезнейшее внимание экологическим аспектам радиационной защиты начали уделять авторитетные международные организации (МКРЗ, МАГАТЭ, НКДАР ООН) [68, 69].

Уточним еще раз, что при антропоцентрическом подходе радиационная защита строится по принципу регулирования воздействия источников ионизирующего излучения на человека, при биотическом — по воздействию на отдельные виды (популяции) или отдельных представителей этих видов, при экоцентрическом — по воздействию на экосистемы. Биоцентрический и экоцентрический подходы можно обобщенно назвать экологическими.

При экологических подходах в систему обеспечения радиационной безопасности включаются компоненты экосистем, в том числе возможно включение и человека как элемента биосферы. С таких позиций экологический подход можно рассматривать как более общий — биосферный, включающий в себя и антропоцентрический.

В действующей формулировке «Публикации 60» антропоцентрический принцип имеет ограниченное применение — его использование является корректным только тогда, когда в рассматриваемой системе присутствует человек. В [70] рассмотрен вопрос о соотношении между собой критериев радиационной защиты человека и окружающей среды на примере использования водного объекта. Основным выводом заключается в следующем: из совместного рассмотрения условия обеспечения радиационной безопасности для населения и оценки дозового облучения ихтиофауны при сценарии использования водного объекта для хозяйственно-питьевого водоснабжения и рыбохозяйственных целей лимитирующим условием является условие обеспечения радиационной безопасности человека. Оно является необходимым и достаточным условием совместного выполнения условий обеспечения радиационной безопасности человека и представителей рыбного сообщества для случаев, имеющих практическое значение (когда масса потребляемой рыбы превышает 0,8 кг в год).

В [71, 72] рассмотрен вопрос влияния на экосистемы водоемов радиационного и химического загрязнения донных отложений. В частности, вычисляется допустимая концентрация радиоактивных веществ в донных отложениях на основе требования по ограничению дозовых нагрузок для представителей флоры и фауны величиной, равной 1% от летальной дозы. Показано, что полученные исходя из этого ограничения предельно допустимые концентрации радионуклидов в донных отложениях существенно больше значений, получаемых при гигиеническом нормировании, что подтверждает правильность антропоцентрического подхода. Оценки, полученные на основе изменения величины, названной «критерием качества состояния биоценоза, который в настоящее время неизвестен» оказались более жесткими и свидетельствуют о том, что требования по радиационной безопасности бентосных организмов могут играть важную роль при нормировании поступления радионуклидов в водоемы.

Таким образом, в большинстве ситуаций, связанных с распространением радионуклидов в водоеме, применение антропоцентрического подхода или его модификации представляется достаточно корректным [73], что, однако, не отменяет необходимости оценки воздействия радиационного фактора на биоту, в первую очередь, — на ее критические компоненты.



Ситуация усложняется, когда в рассматриваемой экосистеме человек отсутствует (например, массив соснового леса, примыкавший к эпицентру аварии на Чернобыльской АЭС; специальные промышленные водоемы ПО «Маяк»). Для таких ситуаций в [73–75] разработаны основные положения системного подхода к регламентированию радиационного воздействия на окружающую среду, который, по крайней мере принципиально, позволяет гармонизировать антропоцентрический и экологический подходы в рамках более общего биосферного подхода (путем снятия ограничений на использование ресурсов окружающей среды для существующих и будущих поколений по радиационным показателям). В связи с наличием особенностей при формировании радиоактивного загрязнения задача обоснования безопасности окружающей среды для каждой из перечисленных, а также схожих ситуаций должна рассматриваться отдельно.

Описав эволюцию регулирования в нормативных и методических документах, перейдем к описанию структуры выбросов и сбросов радиоактивных веществ, сложившейся в последние годы. Обратим внимание на тот факт, что даже в условиях значительного консерватизма при установлении нормативов на выбросы и сбросы фактические значения этих показателей на предприятиях атомной отрасли существенно меньше разрешенных по нормативу.

Суммарная активность радионуклидов, выброшенных в атмосферу предприятиями Госкорпорации «Росатом», в 2011 г. по сравнению с 2010 г. практически не изменилась и составила  $4,25 \cdot 10^{15}$  Бк. Суммарная активность выбросов на 90,5% обусловлена выбросами бета-активных нуклидов ( $3,84 \cdot 10^{15}$  Бк), в составе которых на долю инертных радиоактивных газов приходится 87,1%, на долю трития — 5,9%. Выбросы альфа-активных радионуклидов ( $4,05 \cdot 10^{14}$  Бк) на 95,7% обусловлены радоном-222, поступающим от уранодобывающих производств. По сравнению с предыдущим годом выбросы альфа-активных нуклидов возросли на 16,6% в связи с увеличением выброса радона-222 на ОАО «ППГХО». В целом по отрасли выбросы альфа-активных нуклидов составили около 22%, а бета-активных нуклидов — менее 3% от разрешенного норматива.

В 2011 г. на предприятиях Госкорпорации «Росатом» превышения установленных допустимых значений выбросов радионуклидов не было. Количество выбрасываемых кобальта-60, стронция-90, циркония-95+ниобия-95, рутения-103, рутения-106, йода-131, цезия-134, цезия-137 в целом по отрасли составило менее 2% от установленного норматива.

В поверхностные водные объекты в 2011 г. предприятиями отрасли было отведено 198,5 млн м<sup>3</sup> сточных вод с активностью  $4,09 \cdot 10^{13}$  Бк. В последние годы отмечается существенное сокращение объема сброса сточных вод, содержащих радионуклиды, и их суммарной активности (рис. 1.2.4). По сравнению с 2010 г. объем сброса в поверхностные водные объекты в 2011 г. уменьшился на 68,5 млн м<sup>3</sup>, активность снизилась на  $2,33 \cdot 10^{13}$  Бк. Это связано с уменьшением сброса сточных вод на Кирово-Чепецком отделении ФГУП «РосРАО» на 26,5 млн м<sup>3</sup>, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» — на 24,5 млн м<sup>3</sup>, ФГУП «ПО «Маяк» — на 10,1 млн м<sup>3</sup>, Нововоронежской атомной станции — на 7,4 млн м<sup>3</sup>.

Суммарная активность сточных вод, поступивших от предприятий Госкорпорации «Росатом» в поверхностные объекты, практически полностью определялась бета-активными нуклидами ( $4,09 \cdot 10^{13}$  Бк), в составе которых 98,5% активности обусловлено тритием. Доля приоритетных с точки зрения безопасности нуклидов не превышала 2% от сброса бета-активности, в том числе стронция-90 — 1,42%, цезия-137 — 0,07%.

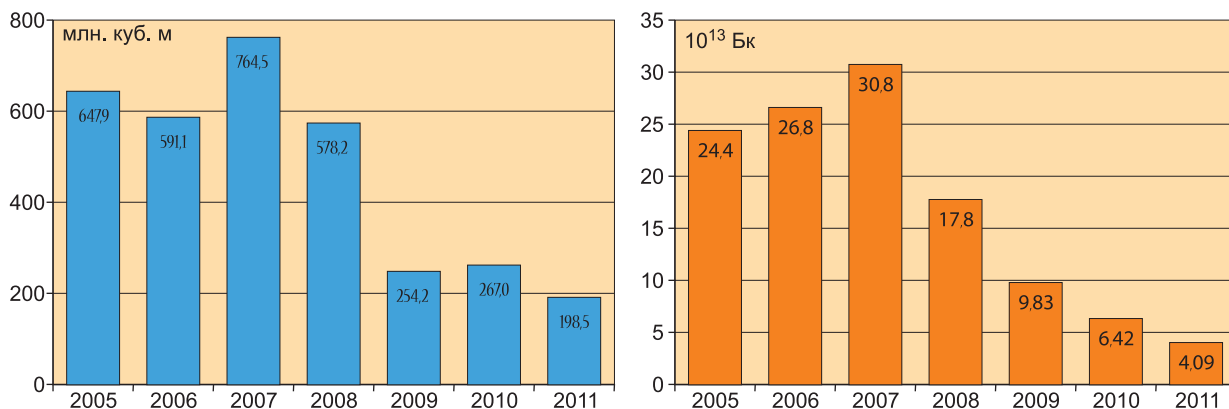


Рис. 1.2.4. Сброс сточных вод, содержащих радионуклиды, предприятиями атомной отрасли в период с 2005 по 2011 годы: динамика объемов и их суммарной активности

Поступление альфа-активных радионуклидов ( $3,22 \cdot 10^{10}$  Бк) на 68,6% было обусловлено естественным ураном.

В 2011 г. лимиты на сброс радионуклидов, установленные предприятиям, превышены не были. Суммарный сброс в открытую гидрографическую сеть альфа-активных нуклидов в целом по отрасли составил около 22%, а по бета-активным — менее 2% от установленных нормативов.

Основопологающим принципом радиационной защиты является ограничение доз облучения персонала и населения. Если в отношении персонала в полной мере реализуются обязательный индивидуальный контроль доз облучения, то в отношении населения возможно сделать лишь расчетные оценки. В условиях нормальной работы предприятий отрасли концентрации радионуклидов в выбросах и сбросах низки, и инструментальное определение концентраций, необходимых для оценки доз, возможно только в непосредственной близости от источника сброса и выброса. На отдалении от источника замеры концентраций показывают величины, не отличимые от фоновых.

Оценки доз показывают, что для населения, проживающего в районах расположения предприятий атомной отрасли, дополнительное облучение, связанное с текущей работой предприятий, не превышает 10 мкЗв/год. Риск возникновения негативных стохастических эффектов (злокачественных новообразований и наследственных эффектов) при таком уровне облучения составляет менее  $5,7 \cdot 10^{-7}$ , что соответствует уровню пренебрежимо малого риска и не требует принятия каких-либо мер.

На ограниченных территориях, загрязненных в результате прошлых аварий, дозы облучения несколько выше. Эта добавка обусловлена воздействием уже накопленного загрязнения окружающей среды. Согласно «Результатам радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2010 год» наибольшие значения годовой дополнительной дозы облучения зафиксированы для населения городов Озерска (ПО «Маяк», Челябинская область) — 0,11 мЗв и Северска (ОАО «СХК», Томская область) — 0,069 мЗв. Вместе с тем, указанные величины дозы остаются на порядок ниже установленного годового предела в 1 мЗв и в полной мере соответствуют требованиям (НРБ-99/2009) по обеспечению безопасности населения при нормальной эксплуатации радиационных объектов.

Основываясь на данных радиационно-гигиенической паспортизации, можно заключить, что дополнительное облучение за счет работы радиационно опасных объектов в сотни раз ниже природного фонового облучения, получаемого человеком. По

территории страны дозы от естественного фона варьируют в диапазоне от 2,0 мЗв/год в Республике Мордовия, Волгоградской и Сахалинской областях до 12,1 мЗв/год в Республике Алтай. Для территории Европы также характерна высокая дифференциация по уровню природного облучения (рис. 1.2.5).

Средняя годовая эффективная доза облучения населения России от всех источников в 2010 г. составила 3,83 мЗв/год. Ведущими факторами облучения являются природные (84,6%) и медицинские (15,2%) источники ионизирующего излучения (рис. 1.2.6). Вклад предприятий, использующих ядерные технологии, оценивается долями процента. Причем эти доли процента обусловлены выбросами и сбросами, вкладом собственно радиоактивных отходов, хранимых или захораниваемых, в формирование дополнительной дозы облучения практически нет. Такая структура дозы облучения населения сохраняется во всех регионах расположения крупных объектов атомной отрасли. Это свидетельствует о благополучной в целом ситуации с показателями текущего воздействия на окружающую среду, в которой находится атомная отрасль, если проводить сравнение с другими отраслями энергетики и промышленности.

Следует в то же время учитывать и то обстоятельство, что в общественном мнении превалирует настороженное отношение к атомной отрасли и вопросам обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Это обусловлено спецификой общественного восприятия радиационного риска, которую требуется принимать во внимание. Так, на локальном уровне очень болезненно воспринимаются вопросы размещения объектов обращения с РАО, хотя риски дополнительного облучения от таких объектов пренебрежимо малы.

### 1.2.3. Снятие с регулирующего контроля веществ в твердой форме

В последние десятилетия вследствие увеличения объема работ по выводу из эксплуатации объектов атомной отрасли и удорожания вопросов обращения с радиоактивными отходами вопрос снятия твердых материалов с регулирующего контроля приобрел особую актуальность. Значения удельных активностей изотопов, удовлетворяющих концепции изъятия из сферы регулирующего контроля, приведены в [22]. Эти значения были получены из условия непревышения дозы в 10 мкЗв/год при обращении с умеренным количеством твердого материала (порядка одной тонны) [76,

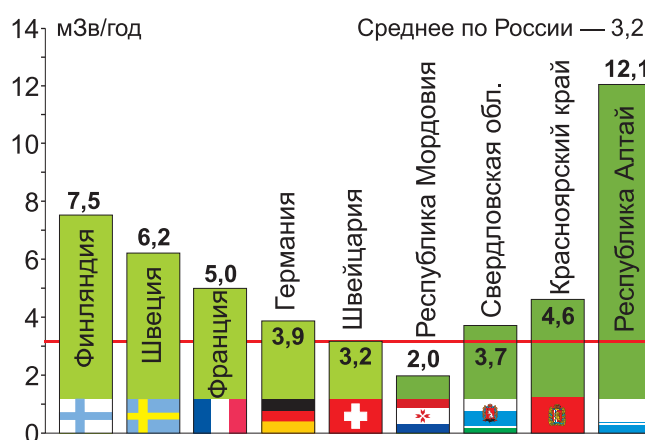


Рис. 1.2.5. Среднегодовые дозы облучения от природных источников населения некоторых стран Европы и регионов России

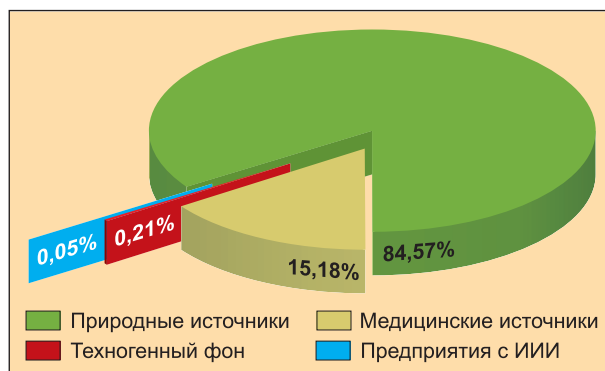


Рис. 1.2.6. Вклад различных источников в среднегодовую дозу облучения населения Российской Федерации

77]. В обосновывающих документах, содержащих сценарии обращения, также имеется несколько примеров, когда рассматриваются емкости с жидкостями и газами, но при этом не содержится абсолютно никаких признаков, позволяющих применять полученные значения для неизолированных жидких и газообразных веществ. Используемые для расчета сценарии включали в себя:

- внешнее облучение при непосредственных манипуляциях руками с небольшим источником;
- внешнее облучение от источника объемом 1 м<sup>3</sup>;
- внешнее облучение от емкости объемом 0,1 м<sup>3</sup>, содержащей радиоактивные вещества в газообразном виде;
- внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления пыли, содержащей радиоактивные вещества, попавшие в воздух с поверхности твердого тела;
- внутреннее облучение за счет потребления чистых продуктов питания грязными руками;
- внешнее облучение от пункта размещения отходов;
- внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления пыли, содержащей радиоактивные вещества, попавшие в воздух с поверхности пункта размещения отходов;
- внутреннее облучение за счет попадания в организм 100 г твердого вещества.

Сценарии предусматривали, что дозы облучения могут быть получены профессионалами на рабочем месте в процессе нормального использования источника или в результате инцидентов, а населением — в результате облучения при проживании вблизи от полигонов-свалок.

Значения концентрации радионуклидов в твердых материалах, рассчитанные в соответствии с концепцией изъятия, в отечественной практике обозначаются как МЗУА — нижняя граница отнесения материалов к РАО.

В 2004 г. МАГАТЭ были представлены рекомендованные уровни освобождения твердых материалов от регулирующего контроля [78]. Для этого оценивались расширенные (по сравнению с ранее использовавшимися в рамках концепции изъятия) сценарии облучения от неограниченного по размерам и суммарной активности источника [79–81]. В частности, были добавлены следующие пути облучения:

- потребление продуктов питания, выращенных на загрязненных территориях;
- потребление воды из источников, имеющих гидравлическую связь с пунктом размещения твердых отходов, из которого происходит выщелачивание с инфильтрационными потоками.

Уровни освобождения были рассчитаны примерно для половины перечня техногенных радионуклидов. Сценарии обращения с неограниченным количеством жидкостей, содержащих радиоактивные вещества, относились только к тем случаям, когда объектом исследования являлись твердые отходы, из которых может происходить выщелачивание радионуклидов за счет инфильтрации. При этом ограничение на малые количества вещества (до тонны) было снято. Как следствие, произошло снижение значений активности для всех нуклидов, по которым были рассчитаны значения удельной активности.

#### ***1.2.4. Радиоактивные отходы как фактор риска***

При воздействии РАО на человека и окружающую среду можно выделить несколько принципиально различающихся этапов — сбор и подготовка к хранению или захоронению, транспортирование и собственно хранение и захоронение.

В условиях нормальной эксплуатации объектов использования атомной энергии должно обеспечиваться безопасное обращение с радиоактивными средами в твердом (материалы, элементы конструкции, загрязненные радиоактивными веществами или содержащие их в результате активации), жидком или газообразном состоянии (технологические среды), а также сброс и выброс радионуклидов в заведомо безопасных для населения и окружающей среды количествах. На этих этапах в принципе невозможно выделить какую-либо специфику в отношении РАО. Радиационная безопасность обеспечивается выполнением системы требований федеральных норм и правил и санитарных нормативов. Анализ данных по облучаемости персонала атомной отрасли и населения показывает, что безопасность находится на высоком уровне.

На этапе сбора РАО появляются новые требования и ограничения, но опять-таки РАО не являются самостоятельным фактором риска, поскольку эти технологические операции осуществляются в процессе эксплуатации объектов использования атомной энергии. Обеспечение радиационной безопасности на этом этапе осуществляется с учетом активности и других характеристик всех радионуклидов, входящих в состав основных конструкций объекта использования атомной энергии, а также состава материалов, которые станут РАО. Только на этапах переработки, в тех случаях, когда эти материалы уже признаны РАО, а обращение с ними осуществляется в отдельном здании или сооружении, радиоактивные отходы приобретают некоторое самостоятельное значение как фактор риска. Заметим также, что могут быть и достаточно частые ситуации, когда переработке подвергаются материалы, содержащие радиоактивные вещества или загрязненные ими, а РАО появляются только по завершению переработки.

Транспортирование РАО также не имеет какой-либо специфики по сравнению с радиоактивными веществами. Оно осуществляется в рамках единых правил, обеспечивающих высокий уровень безопасности. Относительно транспортирования РАО достаточно указать тот факт, что многолетний мировой опыт транспортирования радиоактивных веществ не знает аварий со сколь-либо значимыми последствиями для окружающей среды и населения.

Полностью самостоятельное значение как фактор риска радиоактивные отходы приобретают на этапах долговременного хранения и захоронения. Как правило, на этом этапе они имеют достаточно стабильную форму, исключая возможность интенсивного выхода за рамки инженерных барьеров. Исключения из этого правила могут представлять отходы радиохимических производств, прошлая практика разме-



щения РАО в приповерхностных водоемах и ряд прошлых ситуаций, когда инженерные барьеры оказывались в неудовлетворительном состоянии. Здесь следует оговориться, что в ряде стран отработавшее ядерное топливо рассматривается как ядерные или радиоактивные отходы.

Исключениями также являются ситуации, связанные с масштабным радиоактивным загрязнением. Это, прежде всего, авария на ПО «Маяк» в 1957 г., загрязнение, связанное с существованием водоема В-9 (Карачай) на том же предприятии, и выбросы радиоактивных веществ из бассейнов-хранилищ отработавшего ядерного топлива на АЭС «Фукусима» в 2011 г. Первая из этих ситуаций детально описана в научной литературе [33] и далее рассматриваться не будет. Вопросы обеспечения долгосрочной экологической безопасности отходов радиохимических производств и приповерхностных водоемов хранилищ будут детально рассмотрены в следующих главах. Вопросы роли и вклада бассейнов-хранилищ ОЯТ в последствия аварии на АЭС «Фукусима 1» ждут своего изучения. Заметим только, что определенные выводы для обеспечения безопасности хранилищ ОЯТ уже сделаны, а реализуемая в России концепция долговременного централизованного хранения ОЯТ получила дополнительное обоснование.

Рассмотрим вопрос о том, должно ли рассматриваться в качестве приоритетной задачи снижение текущих радиационных рисков для персонала и населения, связанных с обращением с РАО. Вопросы обоснования безопасности и оценки доз облучения населения в связи с хранением и захоронением РАО более детально будут обсуждаться в следующих главах. С учетом практической невозможности или методических сложностей, связанных с выделением доз облучения, получаемых при обращении с РАО, ограничимся некоторыми допущениями. В последние десять лет на дозиметрическом контроле в атомной энергетике и промышленности состояло около 70 тысяч работников. Анализируя структуры доз облучения по отдельным дивизионам и организациям, можно предположить, что средние дозы облучения персонала, непосредственно занятого обращением с РАО, находятся в диапазоне 4–5 мЗв/год, а количество этого персонала не превышает 3 тысяч человек, то есть речь идет о коллективной дозе порядка 12–15 чел. Зв в год.

Отраслевая статистика показывает, что среди работников, получающих дозы выше 20 мЗв в год, как правило, нет персонала, занятого обращением с РАО. Например, в 2011 г. годовые эффективные дозы более 20 мЗв, но менее 50 мЗв, получили 28 человек, главным образом ремонтный персонал. В ОАО «ГНЦ НИИАР» — это 23 работника, задействованных в работах по обследованию корпуса реакторной установки ВК-50 и установлению его остаточного ресурса. Таким образом, основываясь на значениях средних и максимальных доз облучения персонала, можно утверждать, что риски для персонала, занятого обращением с РАО, лежат в диапазоне приемлемых.

Основываясь на этой и ряде других оценок, можно предположить структуру доз облучения в связи с обращением с РАО при использовании существующих технологий сбора и значительном увеличении объемов транспортирования и захоронения (табл. 1.2.8).

Поскольку речь идет об индивидуальных радиационных рисках на уровне приемлемых для персонала или пренебрежимо малых для населения, то задачу снижения этих рисков следует рассматривать исключительно с позиций рационального использования средств. Основную экономию коллективной дозы, до двух раз, можно достичь только за счет принципиального изменения условий работы всего персонала, занятого работами с РАО. Это потребует многомиллиардных затрат, и таким образом,

Таблица 1.2.8

Оценки коллективных доз облучения в связи с обращением с РАО, чел.Зв/год

Стадия обращения	Персонал	Население
Транспортировка	менее 0,2	менее 0,01
Сбор и переработка, хранение	12–15	менее 0,01
Захоронение	менее 0,1	менее 0,0001

речь может идти о приведенных затратах порядка 140 млн руб. (4,4 млн долл. США) на 1 предотвращенный чел. Зв. Напомним, что коллективная доза в 1 чел. Зв действующими нормативами, основанными на линейной беспороговой концепции, соотносится с одним годом потерянной человеческой жизни для всей облученной популяции.

Представляется целесообразным сравнить эффективность снижения рисков, связанных с обращением с РАО, с возможностями снижения иных рисков радиационной природы, характерных для населения России (табл. 1.2.9).

Сопоставление данных табл. 1.2.9 с прогнозными оценками экономической эффективности работ по снижению доз облучения персонала при обращении с РАО показывает, что существует много ситуаций, когда цели снижения радиационных рисков достигаются более эффективным образом.

Вывод о том, что снижение текущих радиационных рисков при обращении с РАО не является приоритетной задачей, имеет и другие подтверждения. Например, в объемной работе, выполненной по заказу Агентства по атомной энергии ОЭСР [9], рассматривались дозовые нагрузки на персонал и население в двух вариантах организации ядерного топливного цикла — открытом без переработки ОЯТ и закрытом с переработкой ОЯТ. Выводы этой работы важны, поскольку основная активность сосредоточена в ОЯТ, а его переработка — основной источник образования высокоактивных РАО.

Среди этих выводов есть и такие:

- Радиологическое воздействие на персонал и население территорий, близлежащих к перерабатывающим ОЯТ предприятиям, незначительно. Это облучение существенно ниже установленных дозовых пределов для персонала и населения и пренебрежимо мало по сравнению с облучением людей естественными природными источниками радиации.
- Отсутствуют принципиальные различия между открытым (без переработки ОЯТ) и закрытым топливным циклом (с переработкой ОЯТ) с точки зрения радиационного воздействия на персонал и население. Отличия так малы, что не могут быть использованы как аргумент в пользу того или иного варианта ядерного топливного цикла.

Объемы образования РАО также свидетельствуют в пользу того, что эта проблема не является столь значимой, как в отношении других видов отходов. В 2010 г. в России образовалось 3,0 м<sup>3</sup> ЖРО и около 1,4 млн т ТРО, из которых более 90% представляют низкоактивные отходы [83]. В пересчете на душу населения это составляет немногим более 30 кг в год, и эта цифра с развитием системы обращения с РАО должна снижаться. Конечно, России пока трудно обеспечить в атомной отрасли такую же эффективность обращения с отходами, как это достигнуто, например, во Франции, где атомная энергетика обеспечивает порядка 80% потребностей в электроэнергии, а объем

Таблица 1.2.9

## Возможные варианты формирования и снижения коллективной дозы в 1 чел.Зв

Источник	Когорта и время воздействия	Возможность регулирования и способ	Ожидаемые затраты на предотвращение 1 чел.Зв (долл. США)
Природный фон	300 человек, 1 год	Нет	
Рентгеноскопия	100 человек по одной процедуре	Использование более современной аппаратуры	<10 000
Флюорография	1200 человек по одной процедуре	Использование более современной аппаратуры	<10 000
Профессиональное облучение персонала АЭС	Персонал одного блока АЭС с реактором ВВЭР-1000	Повышение радиационной безопасности	<100 000
Радон в помещениях	30 семей в неблагополучном районе (Республика Алтай)	Изоляция фундаментов и вентиляция	<10 000
Радиоактивное загрязнение после аварии на ЧАЭС	250 жителей наиболее загрязненных деревень Брянской области за год	Меры по радиационной защите	> 100 000 при ограничении на потребление продуктов питания > 400 000 при переселении

образования РАО составляет всего 2 кг на душу населения в год [84]. Однако объемы образования РАО и в России, и во Франции несопоставимы с объемами образования других отходов. Во Франции и России они ежегодно составляют соответственно более 5 и 25 тонн на каждого жителя страны. Приведенные соображения не означают, что проблемы обращения с РАО и радиационных рисков, с ними связанных, не существует. Проблема серьезна и значима, но она заключается не в снижении текущих дозовых нагрузок. Принципиально важны два аспекта, это, во-первых, исключение ситуаций, когда бремя обращения с РАО перекладывается на последующие поколения, и, во-вторых, соответствие беспрецедентно высоким требованиям безопасности захоронения РАО, принятым в том числе и на международном уровне.

### 1.3. Формирование системы обеспечения безопасности обращения с РАО в России

#### 1.3.1. Развитие систем безопасности в атомной отрасли

Характеризуя развитие российской атомной промышленности с современных позиций, нельзя не отметить, что требования к экологичности и безопасности технологий усилились кардинальным образом. Произошла серьезная эволюция (табл. 1.3.1) понятия безопасности. На начальном этапе развития отрасли понятие безопасности

Таблица 1.3.1

**Эволюция понятия и требований безопасности в России**

Годы	Содержание понятия	Инструменты
1	2	3
1940–1950	Работоспособность установок	Инструкции
1950–1960	Работоспособность установок + работоспособность персонала + здоровье населения при авариях+ нераспространение	Инструкции, медико-санитарное обеспечение, отселение жителей, Требования МАГАТЭ
1960–1970	Работоспособность установок + безопасность персонала + безопасность населения+ нераспространение	Инструкции, медико-санитарное обеспечение и надзор, Требования МАГАТЭ, нормы радиационной безопасности
1970–1980	Работоспособность установок + безопасность персонала + безопасность населения + нераспространение + охрана окружающей среды	Инструкции, медико-санитарное обеспечение, Требования МАГАТЭ, Нормы радиационной безопасности, контроль состояния окружающей среды
1980–1990	Регулирование безопасности + безопасность персонала + безопасность населения + нераспространение + охрана окружающей среды, оповещение и аварийное реагирование, безопасность персонала и населения при авариях	Инструкции, документы органа регулирования безопасности, атомный и санитарный надзор, медико-санитарное обеспечение, Требования МАГАТЭ, Нормы радиационной безопасности и аварийные регламенты, контроль состояния окружающей среды, эвакуация и переселение населения, ограничения жизнедеятельности
1990–2000	Регулирование безопасности + безопасность персонала + безопасность населения + нераспространение + охрана окружающей среды, оповещение и аварийное реагирование, безопасность персонала и населения при авариях + социальная защита работников и населения	ФЗ «Об использовании атомной энергии» и др., Федеральные нормы и правила, атомный и санитарный надзор, медико-санитарное обеспечение, Требования МАГАТЭ, Нормы радиационной безопасности и аварийные регламенты, контроль состояния окружающей среды, ограничения жизнедеятельности населения, льготы и компенсации
2000–2010	Регулирование безопасности + безопасность персонала и населения + нераспространение + террористическая устойчивость+ охрана окружающей среды + экологическая политика и экологический менеджмент + аварийная готовность + социальная защита работников и населения	Конвенции (по ядерной безопасности, Объединенная и др.) ФЗ «Об использовании атомной энергии» и др., Федеральные нормы и правила, атомный и санитарный надзор, медико-санитарное обеспечение, Требования МАГАТЭ, Нормы радиационной безопасности и аварийные регламенты, контроль состояния окружающей среды, ограничения жизнедеятельности населения, льготы и компенсации

Таблица 1.3.1. Продолжение

1	2	3
2010–	Регулирование безопасности + безопасность персонала и населения + нераспространение + террористическая устойчивость+ охрана окружающей среды + экологическая политика и экологический менеджмент + аварийная готовность + социальная защита работников и населения + безопасность полного жизненного цикла объекта использования атомной энергии	Конвенции (по ядерной безопасности, Объединенная и др.) ФЗ «Об использовании атомной энергии», ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами» и др., Федеральные нормы и правила, атомный и санитарный надзор, медико-санитарное обеспечение, Требования МАГАТЭ, Нормы радиационной безопасности и аварийные регламенты, контроль состояния окружающей среды, ограничения жизнедеятельности населения, льготы и компенсации

сводилось к утилитарному обеспечению работоспособности установок и технологий. Персонал был, по сути, частью этих технологий, и даже безопасные условия труда удалось обеспечить не сразу.

Хорошим маркером состояния безопасности производства в целом и радиационной безопасности в частности являются условия труда персонала. В нашем случае — это дозы облучения персонала и случаи лучевых поражений. Для первых лет работы первых предприятий отрасли случаи местных лучевых поражений и хронической лучевой болезни были относительно частым явлением. Характерно, что именно для первых лет в структуре этих несчастных случаев [83] практически отсутствовали случаи обращения с РАО. Ими, в общем-то, мало занимались, хотя проблемы нарастали быстро.

Напомним, что уже осенью 1949 г. [1] все проектные хранилища ЖРО на комбинате «Маяк» были заполнены, и начался сброс ЖРО в р. Теча, а затем и в водоемы-отстойники. Это, пожалуй, первый и единственный случай в истории ядерных технологий, когда в наиболее уязвимом положении оказалось население — жители населенных пунктов на берегу р. Теча. Этот первый этап можно было охарактеризовать как этап незнания уровня опасности.

Затем, по мере выявления проблемы [33], принимаются меры по недопущению повторения ситуации. Значительное распространение получает практика размещения ЖРО в водоемах-накопителях. Здесь ситуация в области безопасности уже несколько иная. Решениям предшествовало определенное обоснование, в том числе со стороны ученых с мировыми именами (Н.Н. Тимофеев-Ресовский и др.). Об этом более подробно говорится в соответствующем разделе настоящей монографии.

Некоторые из выработанных в те годы рекомендаций сегодня воспринимаются критически. Здесь необходимо внести ясность. В тот период решались задачи обращения с очень большими объемами отходов достаточно высокой активности. Причем решались на основе только что полученных радиобиологических данных и в короткий срок, исходя из необходимости как можно быстрее принять меры по обеспечению безопасности населения. В этом контексте ведущиеся сейчас дискуссии о правомочности закачки ЖРО в пласты-коллекторы и о соответствии этой практики принципам МАГАТЭ менее логичны и в меньшей степени опираются на научные подходы.



Вплоть до 1957 г. в области безопасности обращения с РАО доминировало по сути две идеи:

- РАО — это вспомогательное и второстепенное дело;
- ЖРО надо постараться не выпускать в открытую гидрографическую сеть.

Авария на комбинате «Маяк» в 1957 г. стала платой за отношение к вопросам обращения с РАО как к второстепенным технологическим переделам. Платой достаточно тяжелой как в экономическом, так и в моральном плане, поскольку опять потребовалось переселение жителей [33].

В период 60-х и 70-х годов прошлого века шло эволюционное развитие выбранной схемы обращения с РАО. ТРО размещались в хранилищах, ЖРО — в приповерхностных водоемах, емкостях или отправлялись на закачку в пласты-коллекторы. Практически именно в эти годы была пропущена возможность относительно безболезненной модернизации системы обращения с РАО, которая бы предотвратила накопление проблем в этой области. В 80-е годы основные усилия направлялись на развитие производственных мощностей, а затем на преодоление последствий Чернобыля. Некоторые из решений по обращению с РАО, принятых в этот период, также трудно назвать обоснованными и выверенными. Например, создание так называемого пункта захоронения РАО «Подлесный» в зоне регулярного подтопления в районе Чернобыля или, например, вывоз около 10 тыс. т РАО из Чернобыля на Курскую АЭС. Тем не менее, вплоть до конца 80-х годов доминировало спокойное отношение к незавершенности системы обращения с РАО [2].

В период 90-х годов, даже в условиях острейшей нехватки средств, вопросы обращения с РАО стали восприниматься уже гораздо более остро. До практического изменения системы обращения дело не дошло, но была сформирована система учета радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. В эти годы была разработана федеральная целевая программа обращения с РАО (финансирование начато не было) и появилась первая версия закона об обращении с РАО, который был одобрен Федеральным Собранием Российской Федерации, но отклонен Президентом Российской Федерации, и в дальнейшем снят с рассмотрения.

В период 2000–2005 годов обсуждение накопленных проблем в области обращения с РАО стало предметом постоянного внимания, в том числе и специалистов отрасли. Стали формироваться первые программы по решению накопленных проблем [1]. В это время были развернуты работы по утилизации атомных подводных лодок. В настоящее время эти работы ведутся в рамках подпрограммы «Промышленная утилизация атомных подводных лодок, надводных кораблей с ядерной энергетической установкой, судов атомного технологического обслуживания и реабилитация радиационно опасных объектов на 2011–2015 годы и на период до 2020 года» федеральной целевой программы по утилизации вооружения и военной техники ядерного комплекса.

В рамках программы «Ядерная и радиационная безопасность России на 2000–2006 годы» был организован большой объем аналитической работы, который позволил обосновать комплекс работ по ликвидации ядерного наследия в организациях атомной отрасли и иных отраслях хозяйства.

В итоге к 2006 г. сформировалась ситуация, когда безопасность ядерных технологий воспринималась всеми специалистами уже как чрезвычайно широкое понятие, в котором завершающие стадии жизненного цикла занимают одну из ключевых позиций, а безопасное захоронение РАО, по сути, центральную. К этому же времени в российском законодательстве сформировался ряд запретительных норм, непосред-

ственно касающихся РАО, в том числе запрет на сброс в поверхностные воды, и появились прецеденты их реализации в режиме предъявления санкций за их нарушение. Иногда вопросы обращения с РАО принимали очень острый характер, например, в связи с трактовкой загрязненных при прошлых авариях поверхностных вод в районе расположения ПО «Маяк». Последнее обстоятельство послужило причиной уголовного дела против генерального директора ПО «Маяк». Парадоксальность ситуации заключалась в том, что были предъявлены санкции по поводу разовых превышений содержания стронция-90 в р. Теча, в отношении которой давно были запрещены все виды водопользования. При этом все реки бассейна р. Обь на всем протяжении загрязнены химически вредными веществами на уровнях, многократно превышающих предельно допустимые концентрации (рис. 1.3.1). Тем не менее, такие события также подстегивали поиски решения проблем обращения с РАО.

Возвращаясь к начальному этапу развития атомной промышленности [1], отметим принципиально важные обстоятельства:

1. Существовавшая в то время в СССР система централизованного управления позволяла определять цели и решать задачи либо игнорируя многие сопряженные с ними обстоятельства, либо полагая, что возникающие проблемы могут быть решены позже.

Политическая установка на скорейшую ликвидацию монополии США на ядерное оружие, а затем и на достижение ядерного паритета, на многие годы и десятилетия предопределила масштаб, темпы и характер организации в СССР любых работ, которые имели хоть какое-либо военное значение.

Эти подходы в последующем применялись и в мирной сфере. Характерными чертами таких подходов являлись примат достижения конечной цели, упрощенное отношение к планированию и эффективности использования ресурсов, второстепенное отношение к гуманитарным вопросам, в том числе вопросам жизни и здоровья работников, а тем более к вопросам охраны окружающей среды. Вполне естественно,

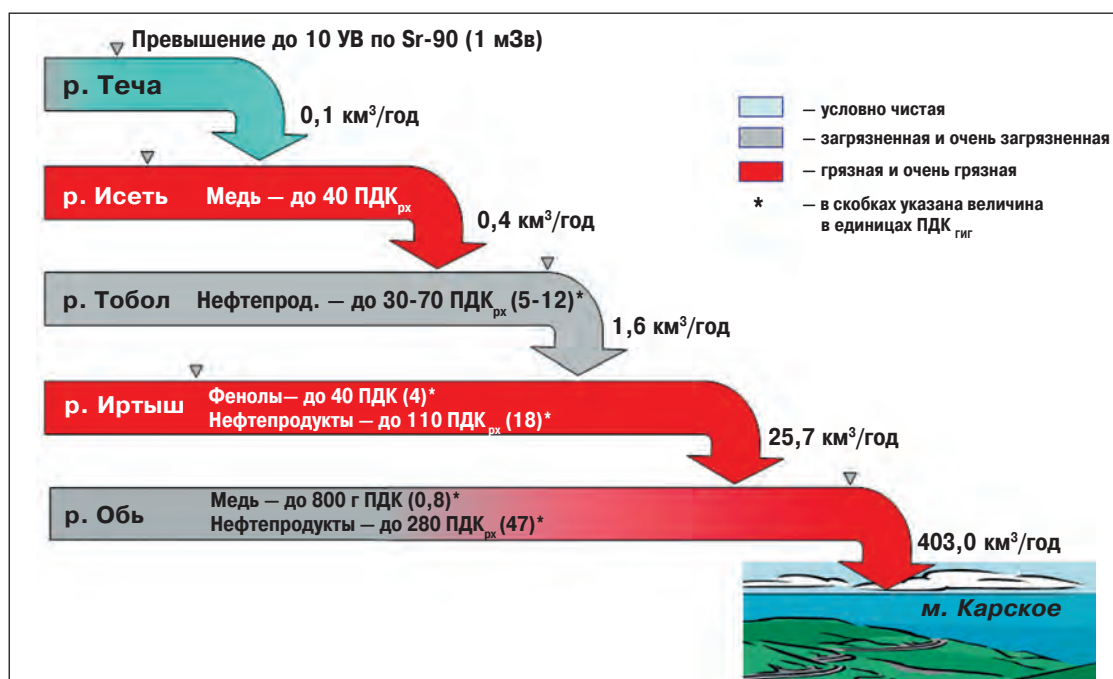


Рис. 1.3.1. Загрязнение вод бассейна р. Обь радиоактивными и химически вредными веществами

что в полной мере эти специфические черты реализовались в наиболее закрытой и масштабной деятельности по созданию отечественного ядерного оружия.

2. Отсутствие опыта и апробированных технологий вынуждало искать простые и быстрые решения для получения конечного результата. Такими, прежде всего, были решения по размещению ЖРО в приповерхностных водоемах.

3. В ряде случаев в области обращения с РАО были найдены решения, которые себя оправдали в прошлом и при должном обосновании могут получить признание и для будущих практик. Речь идет о закачке радиоактивных отходов в пласты-коллекторы. Задача глубинного захоронения жидких РАО путем их нагнетания в скважины впервые была решена на СХК совместно с ИФХЭ РАН и ВНИПИПТ. Позже аналогичные полигоны были созданы на ГХК и в НИИАР.

4. Документы, регулирующие безопасность обращения с РАО на протяжении нескольких десятилетий, являлись действенным стимулом повышения безопасности. Однако в последние годы они главным образом решали частные задачи повышения безопасности конкретных объектов, а в некоторых случаях стимулировали затратное и дорогостоящее обращение с РАО.

Система регулирования безопасности в атомной промышленности никогда не ставила вопрос об обязательности завершения циклов в области обращения с РАО.

Вопросы функционирования систем решались в рамках предприятий либо в рамках проектов первых производств, либо в рамках развития существующей схемы обращения, как это было на ПО «Маяк», где и более современные производства проектировались с ориентацией на размещение отходов в приповерхностных водоемах. Последнее обстоятельство, создавая видимость экономичности, существенно препятствовало развитию более современных практик в области обращения с РАО. В итоге формировался серьезный разрыв между технологиями обращения с РАО и развитием основных производств, достигая порой нескольких поколений.

В такой ситуации было естественным, что цена трансформации схем обращения с РАО в рамках одного предприятия со временем росла, в то время как необходимость этой трансформации не была очевидна, поскольку от РАО все равно невозможно было избавиться ввиду отсутствия объектов для их захоронения.

Сегодня, спустя более чем полвека масштабного функционирования отрасли, по-прежнему высказывается мнение о том, что трансформация системы обращения с РАО может оказаться неподъемным грузом, и работу по завершающим стадиям жизненного цикла в целом (ОЯТ, РАО и вывод из эксплуатации) лучше не активизировать.

Вопрос стоимости обращения с ОЯТ, РАО и вывода из эксплуатации достаточно сложен, но в принципе решен. В странах, где атомная энергетика работает исключительно на рыночных условиях, она хорошо вписывается в них без каких-либо дотаций со стороны государства. При этом и собственники объекта использования атомной энергии, и органы регулирования безопасности, и налоговые органы оперируют детально оцененными и регулярно пересматриваемыми расходами как на полный цикл обращения с РАО и ОЯТ, так и на вывод из эксплуатации. При этом атомная энергетика в этих странах работает в существенно большем объеме обязательств и ограничений в сравнении с другими видами энергетике. В данном случае речь не идет о странах-первопроходцах, реализовавших программы создания ядерного оружия. В них чистота экономической оценки проблемы РАО в определенной мере запутана вложениями государства в собственно программы и последующие работы по ликвидации ядерного наследия.

Важна также оценка с точки зрения временного фактора. В краткосрочном плане существенно дешевле построить временное хранилище РАО и не обременять себя расходами на обоснование, строительство пункта захоронения, отверждение и кондиционирование РАО.

Собственно так и развивалась система обращения с РАО и в СССР, и в России — в режиме воспроизводства хранилищ РАО и создания правовых стимулов для такого воспроизводства. Простой пример уже из российской истории — льготы по налогу на имущество на пункты хранения РАО, предусмотренные Налоговым кодексом Российской Федерации. Как результат — существовавшая система, может быть, является самой дорогой, что видно на примере эволюции способов хранения РАО низкой активности: траншея с загрузкой навалом — железобетонная емкость с загрузкой навалом — тяжелое хранилище с загрузкой навалом — тяжелое хранилище с загрузкой РАО в бочках — кондиционирование РАО в бочках, их размещение в тяжелом контейнере и затем в тяжелом хранилище. И все эти затраты и технологии обеспечивают лишь временное решение проблемы — на период хранения.

### *1.3.2. Развитие системы учета радиоактивных отходов*

На протяжении нескольких десятилетий в области обращения с РАО все эволюции были связаны, главным образом, с развитием системы классификации и санитарных правил (требований) по безопасному обращению, осуществляемых, в основном, органами государственного санитарного надзора. В более поздний период начала формироваться система федеральных норм и правил, регулирующих безопасность при обращении с РАО, и требований по их учету, в формировании которых ведущую роль стали играть органы регулирования безопасности и органы управления использованием атомной энергии [1].

Вопросы классификации и безопасного обращения с РАО рассматривались, как правило, в двух документах — основных санитарных правилах и санитарных правилах обращения с радиоактивными отходами. При этом для классификационных целей всегда использовались те или иные данные из норм радиационной безопасности. На протяжении длительного времени указывалось на существование двух агрегатных форм РАО — твердой и жидкой, трех типов РАО — низкоактивных, среднеактивных и высокоактивных — и нескольких видов активности — гамма-, альфа- и бета-излучателей.

Так в ОСП-72 указывалось, что ЖРО считаются радиоактивными, если содержание в них радиоактивных веществ (РВ) превышает среднегодовые допустимые концентрации радионуклидов, установленные для воды (НРБ-69). В ОСП-72/87 радиоактивные отходы также разделяются на жидкие и твердые. Реализуется примерно такой же подход к определению ЖРО — содержание отдельных радионуклидов или их смесей превышает допустимые концентрации, установленные для воды (НРБ-76/87).

Отметим, что установление нижней границы отнесения к ЖРО на столь низком уровне в рамках действовавшей в те годы системы регулирования безопасности не противоречило практике размещения жидких отходов в промышленных водоемах.

Появление ЖРО в объектах окружающей среды в те годы также в принципе не могло явиться поводом для какого-либо рассмотрения вопроса о приемлемости вида деятельности, в результате которой эти отходы образовались. Это был чисто технологический норматив, который никто не мог применить к загрязненным водам реки Теча и других водоемов, загрязненных в результате аварии 1957 г. Однако его последующее простое воспроизводство в условиях появления новых природоохранных и



иных норм, в том числе по обеспечению благоприятной среды обитания, породило ряд серьезных, не решенных до настоящего времени проблем.

В документе ОСП-72/87 к ТРО относятся изделия, детали машин и механизмов, материалы, биологические объекты, отработавшие радионуклидные источники. Твердые отходы считаются радиоактивными, если удельная активность отходов больше:

- $2 \cdot 10^{-7}$  Ки/кг для источников альфа-излучения (для трансураниевых элементов  $1 \cdot 10^{-8}$  Ки/кг);
- $2 \cdot 10^{-6}$  Ки/кг для источников бета-излучения;
- $1 \cdot 10^{-7}$  г-экв. радия/кг для источников гамма-излучения.

В санитарных правилах, как правило, указывалось на необходимость учета РВ и РАО в рамках отдельной организации и необходимость информирования органов санитарного надзора за их перемещением. Кроме этого, осуществлялись отдельные мероприятия по учету и контролю РАО и мест их размещения. В 1992 г. в соответствии с распоряжением Президента РСФСР от 2 ноября 1991 г. № 70-рп «О неотложных мерах по обеспечению радиационной безопасности на территории РСФСР» было принято постановление Правительства Российской Федерации от 22 июля 1992 г. № 505 «Об утверждении порядка инвентаризации мест и объектов добычи, транспортировки, переработки, использования, сбора, хранения и захоронения радиоактивных веществ и источников ионизирующего излучения на территории Российской Федерации».

Проведение инвентаризации предполагало своей целью, в том числе, осуществление учета и контроля радиационно опасных объектов, связанных с обращением с РАО, а также составление Государственного регистра мест и объектов добычи, транспортировки, переработки, использования, хранения и захоронения радиоактивных веществ, радиоактивных отходов, источников ионизирующего излучения. Данные Государственного регистра должны были использоваться при разработке мероприятий по обеспечению радиационной безопасности населения и охране окружающей среды на прилегающих к указанным объектам территориях. В последующие годы в соответствии с этим документом Минприроды России совместно с заинтересованными министерствами и ведомствами проводились работы по уточнению и заполнению этого Государственного регистра.

Разделом III постановления Правительства Российской Федерации от 23 октября 1995 г. № 1030 «О федеральной целевой программе «Обращение с радиоактивными отходами и отработавшими ядерными материалами, их утилизация и захоронение на 1996–2005 годы» предусматривалось ведение государственного кадастра РАО. Одновременно Положение о государственном учете и контроле радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в Российской Федерации регламентировало ведение кадастров РАО, пунктов их хранения и захоронения. В некоторых других нормативных документах также содержалось требование о ведении единого государственного кадастра РАО, пунктов их хранения и захоронения. Следует отметить, что указанная программа не была реализована.

В целом, до принятия в 1995 г. федерального закона «Об использовании атомной энергии» № 170-ФЗ в нормативных актах, посвященных регулированию различных вопросов обращения с РАО, не было выработано единого понятийного аппарата и общей терминологии по рассматриваемому вопросу. Попытки создать информационную базу данных по РАО и пунктам их хранения носили фрагментарный характер и не формировали единой и цельной системы.

Принятие закона «Об использовании атомной энергии» ввело понятие государственного учета и контроля ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоак-



тивных отходов (ст. 22). В данной статье указывалось, что ядерные материалы, радиоактивные вещества, радиоактивные отходы независимо от формы собственности подлежат государственному учету и контролю в системе государственного учета и контроля ядерных материалов и в системе государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов для определения наличного количества этих материалов, веществ и отходов в местах их нахождения, предотвращения потерь, несанкционированного использования и хищений, предоставления органам государственной власти, органам управления использованием атомной энергии и органам государственного регулирования безопасности информации о наличии и перемещении ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, а также об их экспорте и импорте.

В соответствии с указанной статьей было издано постановление Правительства Российской Федерации от 11 октября 1997 г. №1298 «Об утверждении Правил организации системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов».

Во исполнение этих Правил приказом Министра Российской Федерации по атомной энергии от 11 октября 1999 г. было утверждено Положение о государственном учете и контроле радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в Российской Федерации. Данное Положение носит межведомственный характер и распространяется на все органы, в компетенцию которых входят вопросы, связанные с обращением с РАО, включая органы государственного управления использованием атомной энергии и органы государственного регулирования безопасности, а также организации, осуществляющие деятельность в области обращения с РАО.

В отношении РАО, образующихся в ядерном оружейном комплексе, действует Положение о системе государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в Вооруженных Силах Российской Федерации, утвержденное приказом Минобороны России от 13 февраля 2004 г. № 50.

В настоящее время Госкорпорация «Росатом» ведет работу над новой редакцией Правил организации и функционирования системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов. Изменения направлены на выполнение рекомендаций МАГАТЭ, приведение действующих правил в соответствие с Федеральным законом «Об использовании атомной энергии» в редакции законов № 13-ФЗ, № 317-ФЗ и № 190-ФЗ.

Надзор за функционированием системы, также как и контроль за соблюдением установленных норм и правил при осуществлении учета и контроля РАО, возложен на Ростехнадзор. К таким нормам и правилам относятся введенные в действие в 2006 г. «Основные правила учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в организации», НП-067-05.

В 1998–2000 гг. Минатомом России были подготовлены правовые и методические документы, обеспечивающие создание и функционирование Системы государственного учета и контроля (СГУК) РВ и РАО. К ним относятся методические рекомендации по проведению первичной инвентаризации радиоактивных веществ и РАО, формы представления оперативной информации по учету и контролю радиоактивных веществ и РАО в системе государственного учета и контроля, а также инструкция по их заполнению, формы федерального государственного статистического наблюдения и рекомендации по их заполнению. Это позволило с 1 июля 2000 г. приступить к проведению первичной инвентаризации РАО, а с 1 января 2001 г. начать сбор и анализ оперативной отчетности организаций по этому вопросу.

Организационно-функциональная схема СГУК РАО включает в себя органы управления системы на федеральном (Минатом, а теперь Госкорпорация «Росатом»), региональном (органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации) и ведомственном уровнях (федеральные органы исполнительной власти).

Руководство деятельностью информационно-аналитических организаций и центра сбора, обработки и передачи информации (Центрального информационно-аналитического центра государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО — ЦИАЦ), обеспечивающих функционирование системы на федеральном уровне; сотрудничество с зарубежными странами в рамках международных соглашений и программ (проектов) по вопросам учета и контроля РАО.

В следующем поколении документов (НРБ-99, ОСПОРБ-99, СПОРО-2002) радиоактивные отходы по агрегатному состоянию подразделяются уже на жидкие, твердые и газообразные.

К жидким радиоактивным отходам относятся не подлежащие дальнейшему использованию органические и неорганические жидкости, пульпы и шламы, в которых удельная активность радионуклидов более чем в 10 раз превышает значения уровней вмешательства при поступлении с водой, приведенные в приложении П-2 НРБ-99.

К твердым радиоактивным отходам относятся отработавшие свой ресурс радионуклидные источники, не предназначенные для дальнейшего использования материалы, изделия, оборудование, биологические объекты, грунт, а также отвержденные жидкие радиоактивные отходы, в которых удельная активность радионуклидов больше значений, приведенных в приложении П-4 НРБ-99, а при неизвестном радионуклидном составе удельная активность больше:

- 100 кБк/кг — для источников бета-излучения;
- 10 кБк/кг — для источников альфа-излучения;
- 1,0 кБк/кг — для трансураниевых радионуклидов.

К газообразным радиоактивным отходам относятся не подлежащие использованию радиоактивные газы и аэрозоли, образующиеся при производственных процессах, с объемной активностью, превышающей допустимую объемную активность (ДОВА) для персонала, значения которой приведены в приложении П-2 НРБ-99.

Отметим, что введение понятия газообразных РАО также сопровождалось некоторыми недоразумениями. Первое из них — путаница с понятиями «обеспечение радиационной безопасности» и «обращение с РАО». В одном случае это система контроля за радиационной обстановкой и реализация корректирующих действий. В другом случае — это требования к сбору, переработке, хранению и захоронению отходов, содержащих радиоактивные вещества. Что такое допустимая объемная активность техногенных радионуклидов в воздухе рабочей зоны? Это проектно или экспериментально определяемая величина, на основе которой проектируется или усовершенствуются системы вентиляции и газоочистки. Единственная технология измерения — прокачка сотен и тысяч кубометров воздуха и измерение активности на фильтрах.

К любой технологической деятельности с ограниченным объемом газа этот подход не применим при таких концентрациях. Причем не только в организации, где эти газообразные РАО образовались, но и в лучших лабораториях. Особых дискуссий это нововведение не вызвало, поскольку вопрос его применимости был более чем очевиден.

Второе недоразумение, сопровождавшее введение понятия газообразных РАО, явилось следствием стремления к гармоничности требований без рассмотрения практического назначения нового требования по существу. Это рассмотрение показало бы, что воздух рабочей зоны не является отходом, а лишь загрязненным воздухом,

который необходимо очистить и удалить в рамках допустимых выбросов. Это рассмотрение также показало бы, что в рамках производств могут появиться не подлежащие дальнейшему использованию сосуды с газообразными радиоактивными веществами, в отношении сбора и переработки которых должны быть предприняты меры предосторожности.

Содержание этих сосудов необходимо как-то оценивать, нескрывая их. На каком уровне установить требование? Вероятно, на уровне, который можно оперативно контролировать. Эта величина будет не менее 1000 ДОА для персонала, но не просто газа, а газа в емкости.

Важно отметить, что на протяжении длительного времени и регулирующие документы органов санитарного надзора, и документы органа государственного регулирования безопасности были достаточно согласованы в части критериев отнесения к РАО и применялись, главным образом, в границах организаций, где они образовывались, или в рамках специализированных организаций. Иная ситуация сложилась в связи с принятием в 2010 г. органами санитарного надзора обновленной версии ОСПОРБ-99. Подробный разбор дискуссионных положений этого документа приведен в Приложении 1.

### **Заключение**

В завершение данной главы еще раз констатируем ряд утверждений относительно проблемы поступления химически вредных и радиоактивных веществ в окружающую среду в виде выбросов, сбросов и отходов.

1. Вопросы безопасного обращения с химическими и радиоактивными веществами стали неотъемлемой частью природоохранного и санитарного законодательства как на национальном, так и на международном уровне. Применительно к выбросам и сбросам используется многобарьерная система ограничений — на источник, параметры среды обитания и выпускаемую продукцию, применительно к отходам развивается система требований по их обезвреживанию и захоронению.

2. Проблема выбросов и сбросов имеет не только локальное и региональное, но и глобальное измерение с точки зрения распространения и масштабов воздействия на окружающую среду и здоровье. Эффекты, связанные с размещением отходов, носят исключительно локальный характер в случае цивилизованного обращения с ними. Это в равной мере справедливо как в отношении химических, так и в отношении радиоактивных веществ.

3. Становление систем охраны здоровья человека и окружающей среды в отношении химически вредных веществ и радиоактивных веществ имеет существенные отличия. В первом случае такие системы создавались в ответ на уже сложившуюся опасную ситуацию и в настоящее время развиваются также с определенным запаздыванием. На уровне мирового сообщества выработаны подходы только в отношении отдельных химических загрязнителей. В случае с радиоактивными веществами разработка рекомендаций и фундаментальных принципов радиационной защиты уже в первой половине прошлого века стала осуществляться в рамках международной организации — МКРЗ.

4. Начиная с первых лет деятельности в области использования атомной энергии и производства ядерного оружия предпринимались меры, которые в те годы представлялись необходимыми для обеспечения безопасности населения и охраны окружающей среды. Полнообъемная система современных требований в области обращения с ОЯТ

и РАО выработана на уровне мирового сообщества более десятилетия назад, а также сформированы механизмы международного контроля (подробнее см. главу 2).

5. Риски для здоровья человека, связанные с техногенным облучением, на много порядков (в тысячи и миллионы раз) ниже рисков, обусловленных загрязнением окружающей среды химически вредными веществами.

6. Возможности инструментального контроля присутствия в окружающей среде принципиально выше для радионуклидов, чем для химически вредных веществ. В отношении первых мониторинг осуществляется на уровне тысячных и миллионных долей от допустимых концентраций, в отношении вторых — на уровне предельных концентраций и в ограниченном объеме с точки зрения охвата территорий и числа загрязнителей.

7. Для радиоактивных веществ возможности оценки воздействия на население и окружающую среду существенно более высокие — имеется возможность просчитать все пути воздействия всех радионуклидов на протяжении всего срока потенциальной опасности. В то же время в диапазоне малых доз нет объективных данных для практического доказательства справедливости линейной беспороговой концепции воздействия радиации на человека, равно как и справедливости или спорности так называемой основной парадигмы радиоэкологии. В этой связи в радиационном нормировании преобладает консервативный подход, и нормативы обладают большим запасом прочности. В отношении химических веществ в части, касающейся влияния на здоровье человека, объем нормативных ограничений велик, но не полон в связи с постоянным появлением новых химических соединений. В природоохранной области объемы нормирования и мониторинга химически вредных веществ существенно скромней — нормативы установлены лишь для ограниченного числа наиболее опасных загрязнителей.

8. В отношении выбросов и сбросов радиоактивных веществ и радиоактивных отходов повсеместно реализуется упреждающий комплекс защитных мер. Масштабное и несанкционированное поступление радиоактивных веществ в окружающую среду возможно только в случае крупных радиационных аварий. Таких аварий за последние 50 лет в мире было две (Чернобыль, Фукусима).

9. Мировой опыт показывает, что эффективное законодательное регулирование в области обращения с отходами предполагает адресные меры в отношении различных видов и категорий отходов и способов обращения с ними, в том числе с радиоактивными. Минимизация отходов, принцип «загрязнитель платит», ужесточение требований к окончательной изоляции — это основные составляющие систем обращения с отходами, характерные и для РАО, и для обычных отходов.

10. Объемы образования радиоактивных отходов и число объектов, где они производятся, малы по сравнению с обычными отходами. Общее количество отходов производства и потребления превосходит количество радиоактивных отходов в тысячи раз, а по наиболее опасным — в миллионы раз.

11. В России, как и в других странах, необходимость развития системы обращения с РАО связана не с имеющимся уровнем рисков для персонала и населения, а исключительно с управлением рисками в долгосрочной (десятки, сотни и тысячи лет) перспективе, снижением бремени на последующие поколения и жесткими параметрами в отношении этих рисков, принятыми на международном уровне.

12. При решении вопросов размещения объектов обращения с РАО требуется учитывать специфику общественного восприятия радиационного риска и использовать опыт взаимодействия с местными сообществами, накопленный в других странах.



## Литература

1. 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. — 2012. — 356 с. — Т.1.
2. Ядерная энергетика. Проблемы и перспективы. Экспертные оценки. Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова. Москва, 1989 г. — 489 с.
3. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. Введение в экологическую химию: Пер. с нем. — М.: Мир, 1997. — 232 с.
4. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практике управления качеством окружающей среды: Методическое издание. СПб.: Международный институт оценки риска здоровью, 1997.
5. Colin C Ferguson. Assessing Risks from Contaminated Sites: Police and Practice in 16 European Countries/Land Contamination and Reclamation, 7(2), 1999.
6. Рахманин Ю.А., Новиков С.М., Шашина Т.А., Абалкина И.Л. Оценка и снижение стратегических рисков в социальной сфере (на примере рисков для здоровья человека)// Управление риском, 2002, специальный выпуск.
7. Halina Szejnwald Brown, Brian J. Cook, Robert Krueger & Jo Anne Shatkin. Reassessing the History of U.S. Hazardous Waste Disposal Policy — Problem Definition, Expert Knowledge and Agenda-Setting / <http://law.unh.edu>
8. Municipal Solid Waste in The United States. 2009 Facts and Figures / <http://www.epa.gov>
9. National Biennial RCRA Hazardous Waste Report (Based on 2009 Data) / <http://www.epa.gov>
10. Report from the Commission to the Council and the European Parliament on implementation of the Community Waste Legislation for the Period 2001–2003/Commission of the European Communities, Brussels 19.7.2006 COM(2006) 406 final.
11. European Communities (Waste Directive) Regulations 2011 / <http://www.environ.ie>
12. Eurostat — Waste Statistics / <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
13. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2009 году» / <http://www.mnr.gov.ru>
14. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010 году» / <http://www.mnr.gov.ru>
15. Отчет по безопасности. — М.: Изд-во «Комтехпринт», 2012. 72 с.
16. Основы экологической политики Госкорпорации «Росатом». <http://www.rosatom.ru>
17. Грачев В.А. Экологическая политика Госкорпорации «Росатом» и система ее реализации. /Безопасность окружающей среды, №4, 2010.
18. Рекомендации парламентских слушаний «Обращение с отходами: проблемы законодательного обеспечения и государственное регулирование», Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации 30 ноября 2006 года / <http://www.waste.ru>
19. Отчет о результатах контрольного мероприятия «Аудит эффективности охраны окружающей среды в Российской Федерации в 2005–2007 годах» / Счетная Палата Российской Федерации, № 3 (147), 2010 г. / <http://www.budgetrf.ru>
20. Лаверов Н.П., Макоско А.А., Ахметханов Р.С. и др. Информационно-аналитические материалы для заседания Совета Безопасности Российской Федерации по вопросу «О мерах по обеспечению экологической безопасности Российской Федерации» / Проблемы национальной безопасности: экспертные заключения, анализ, материалы, предложения / Под общ. ред. Н.П. Лаверова; Российская академия наук. — М.: Наука, 2008. — 459 с.
21. Объединенная конвенция о безопасности обращения с ОЯТ и о безопасности обращения с РАО. МАГАТЭ, INFCIRC/546, 21.06.2001 г.
22. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Цепочки радиоактивных превращений: Справочник. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1994. — 112 с.
23. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения, IAEA, BSS-115, 1996.
24. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 // Annals of the ICRP V 37, N 2–4, Elsevier, 2007.
25. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. № 47).
26. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 26 апреля 2010 г. № 40).
27. Баженов В.А., Булдаков Л.А., Василенко И.Я. и др. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества. Л.: Химия, 1990.
28. Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад за 1982 г. Генеральной Ассамблее в двух томах. Том 1. ООН, Нью-Йорк, 1982. 881 с. и Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation/ UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Scientific Annex D. United Nations. New York: 2011.



29. Preston D.L., Ron E., Tokuoka S. et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998 // *Radiat. Res.* 2007. V. 168. P. 1–64.
30. National Research Council, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations (BEIR VII PHASE 2), Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation. Washington, DC: Natl Acad. Press, 2006.
31. EPA 402-R-11-00, EPA Radiogenic Cancer Risk Models and Projections for the U.S. Population. U.S. Environmental Protection Agency Office of Radiation and Indoor Air 1200 Pennsylvania Ave., NW, Washington, DC 20460, April 2011.
32. Российский национальный доклад. 25 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986–2011. М., 2011. 71 с.
33. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. Под ред. Л.А.Ильина, В.А. Губанова. М.: ИздАт, 2001. С. 751.
34. Национальный радиационно-эпидемиологический регистр. [www.nrer.ru](http://www.nrer.ru).
35. Мелихова Е.М., Бархударова И.Е. Методические вопросы оценки демографической ситуации на радиационно-загрязненных территориях (на примере Брянской области). Препринт ИБРАЭ №IBRAE-2012-03, Москва. ИБРАЭ РАН.-33 с.
36. Санитарные правила проектирования атомных электростанций № 38/3–68. М.: 1969.
37. Временные методические указания по расчету предельно допустимых выбросов радиоактивных продуктов в атмосферу промышленными предприятиями и энергетическими установками (ПДВ-73). М.: Гидрометеоиздат, 1975.
38. Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87 и Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений ОСП-72/87/Минздрав СССР. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 160 с.
39. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных электростанций СП АЭС-79. Институт биофизики М-ва здравоохранения СССР. М.: Энергоиздат, 1981, 40 с.
40. The Chernobyl Forum. Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, The Russian Federation and Ukraine. <http://www.iaea.org>.
41. Адамов Е.О., Ганев И.Х. Экологически безупречная ядерная энергетика. М.: НИКИЭТ им. Н.А. Доллежалея. 2007., 145 с.
42. Допустимые выбросы радиоактивных и химических веществ в атмосферу. М.: Энергоатомиздат, 1985.
43. Методы расчета распространения радиоактивных веществ с АЭС и облучения окружающего населения. Нормативно-технический документ 38.220.56-84. МХО Интератомэнерго. М.: Энергоатомиздат, 1984.
44. ДВ-98. Руководство по установлению допустимых выбросов радиоактивных веществ в атмосферу. – Госкомэкология России, Минатом России, Москва. – Том 1,2. – 1999.
45. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03). СанПин 2.6.1.24-03. М.: 2003.
46. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ (Собрание законодательства Российской Федерации, 1996, № 3, ст. 141).
47. Нормы МАГАТЭ по безопасности. Серия 10. Удаление радиоактивных отходов в пресные воды, 1963. 113 с.
48. Гусев Д.И., Грачев М.И., Буянов Н.И., Катков А.Е., Осколков Б.Я. Гигиенические требования к охране от загрязнения водоемов-охладителей АЭС в связи с использованием их для рыболовства // Вопросы безопасности АЭС и задачи научных исследований. Сб. докл. Всесоюзного научно-технического совещания. Полярные Зори, Кольская АЭС, июнь 1977. – М.: Атомиздат, 1979. С. 135–138.
49. Гусев Д.И., Марей А.Н., Гнеушева Г.И., Катков А.Е., Степанова В.Д., Грачев М.И. Гигиеническая оценка водоемов-охладителей атомных электростанций // Проблемы радиоэкологии водоемов-охладителей атомных электростанций, 1978. С. 8–14.
50. Гусев Д.И., Павловский О.А. Основные положения методики расчета предельно допустимых сбросов радиоактивных веществ в поверхностные водоемы // Радиационная безопасность и защита АЭС, вып. 7. – М.: Энергоиздат, 1982. С. 157–164.
51. РД 52.26.174-88. Методика прогнозирования состояния загрязнения водоемов при нарушении нормальной эксплуатации АЭС. Методические указания по расчету допустимых сбросов радиоактивных веществ АЭС в поверхностные воды. МУК 2.6.2.29 2000. Москва, 2000.
52. Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment. Safety Report Series № 19. IAEA, Vienna, 2001.
53. Remedial Investigation / Feasibility Study for the Clinch River/Poplar Creek Operable Unit. Prepared by Environmental Sciences Division Oak Ridge National Laboratory and Jacobs Engineering Group Inc. September 1995.
54. Источники и эффекты ионизирующего излучения. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Отчет НКДАР ООН 2000 года Генеральной Ассамблее с научными приложениями. Москва, РАДЭКОН, 2002.
55. СП 2.6.1. 758-99. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Минздрав России, 1999.
56. Тряпицына Г.А., Андреев С.С., Осипов Д.И., Стукалов П.М., Иванов И.А., Александрова О.Н., Костюченко А.В., Пряхин Е.А., Аклеев А.В. Оценка радиационного воздействия на гидробионтов некоторых специальных промышленных водоемов ПО «Маяк» // Радиационная биология. Радиэкология. Том 52, № 2, 2012. С. 207–214.
57. Пряхин Е.А., Тряпицына Г.А., Дерябина Л.В., Андреев С.С., Духовная Н.И., Осипов Д.И., Обвинцева Н.А., Стяжкина Е.В., Костюченко В.А., Попова И.Я., Аклеев А.В., Стукалов П.М., Иванов И.А., Мокров Ю.Г.,

- Медведев А.Г. Современное состояние экосистем водоемов В-11, В-10, В-4, В-17 и В-9 ПО «Маяк» // Вопросы радиационной безопасности. Специальный выпуск, 2011. С. 5–23.
58. Духовная Н.И., Осипов Д.И., Тряпицына Г.А., Прякин Е.А., Стукалов П.М. Влияние радиоактивного и химического загрязнения водоемов ПО «Маяк» на состояние фитопланктонных сообществ // Вопросы радиационной безопасности. Специальный выпуск, 2011. С. 24–36.
  59. ICRP Database of Dose Coefficients: Workers and Members of the Public. Version 2.0.1.
  60. United Nations. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993 Report to the General Assembly, with scientific annexes. United Nations sales publication E.94.IX.2. United Nations, New York, 1993.
  61. Казаков С.В., Уткин С.С. Подходы и принципы радиационной защиты водных объектов. М.: Наука, 2008. — 318 с.
  62. Казаков С.В. Управление радиационным состоянием водоемов-охладителей АЭС. К.: Техника, 1995.
  63. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Математическое моделирование миграции радионуклидов в водных экосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1986. 152 с.
  64. Amiro B.D., Zach R.A. A Method to Assess Environmental Acceptability of Releases of Radionuclides from Nuclear Facilities // Environment International. 1993. Vol. 19.
  65. Methodology for Assessing Impacts of Radioactivity on Aquatic Ecosystems. Technical Reports Series No. 190. IAEA, Vienna, 1979.
  66. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями от 22 августа, 29 декабря 2004 г., 9 мая, 31 декабря 2005 г., 18 декабря 2006 г., 5 февраля, 26 июня 2007 г., 24 июня, 14, 23 июля, 30 декабря 2008 г., 14 марта, 27 декабря 2009 г.) // Российская газета. 12 января 2002 г. № 6; Собрание законодательства Российской Федерации. 14 января 2002 г. № 2 ст. 133.
  67. Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Ч. 1: Пределы годового поступления радионуклидов в организм работающих, основанные на рекомендациях 1990 года / Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1994. — 192 с. — (Публикация 60. — Ч. 1. 61МКРЗ).
  68. A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-human Species. ICRP Publication 91. — [S. l.]: Pergamon, 2002 — P. 200–265. — Annals of the ICRP.
  69. Ethical Considerations in Protecting the Environment from the Effects of Ionizing Radiation: IAEA-TECDOC-1270. — Vienna, 2002.
  70. Казаков С.В., Уткин С.С.. Соотношение критериев радиационной безопасности человека и окружающей среды // Радиационная биология. Радиоэкология, 2008, том 48, № 3, с. 378–382.
  71. Мартынова М.В. Влияние взмучивания донных отложений на экосистемы водоемов // География и природные ресурсы, 2007, № 4, с. 38–41.
  72. Бреховских В.Ф., Казмирук Т.Н. Гидроэкология: динамика донных отложений слабопроточного водоема (как фактор вторичного загрязнения водной среды) // Инженерная экология, № 6, 1999. С. 10–20.
  73. Казаков С.В., Линге И.И. О гигиеническом и экологическом подходах в радиационной защите // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2004. — 44, 4. — С. 482–492.
  74. Алексахин Р. М., Фесенко С. В. Радиационная защита окружающей среды: антропоцентрический и экоцентрический принципы // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2004. — Т. 44. — № 1. — С. 93–103.
  75. Алексахин Р. М., Казаков С. В. Принципы и подходы к радиационной защите окружающей среды: Доклад на совещании Росатома по охране окружающей среды. СПб, 10–13 июля 2006 г.
  76. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения, IAEA, BSS-115, 1996.
  77. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES; Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities (Exemption Values) below Which Reporting Is Not Required in the European Directive, Radiation Protection 65, Doc. XI-028/93, CEC, Brussels (1993).
  78. Руководство № RS-G-1.7 «Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля», МАГАТЭ, 2004 г.
  79. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Derivation of Activity Concentration Levels for Exclusion, Exemption and Clearance, draft report, IAEA, Vienna, 2004.
  80. European Commission. Radiation Protection № 122. Guidance on General Clearance Levels for Practices. Directorate-General Environment. 2000.
  81. European Commission. Radiation Protection № 157. Comparative Study of EC and IAEA Guidance on Exemption and Clearance Levels. Directorate-General for Energy. 2010.
  82. Адамов Е.О., Ганев И.Х., Лопаткин А.В., Муратов В.Г., Орлов В.В. Трансмутационный топливный цикл в крупномасштабной ядерной энергетике России. М.:ГУП НИКИЭТ, 1999 г., 252 с.
  83. Третий национальный доклад Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Обединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. М., 2012.
  84. Gerald Ouzounian. The French Experience in Radioactive Waste Management. Выступление на международной конференции «Глобальное партнерство «Группы восьми»: оценка и перспективы дальнейшего сотрудничества в области ядерной и радиационной безопасности», Москва, 21–23 ноября 2012 г./ [www.nuclearsafety.ru](http://www.nuclearsafety.ru)

## ГЛАВА 2

### Передовые практики и одобренные на международном уровне критерии и нормы

Беспрецедентный уровень международной кооперации в сфере оценки рисков, связанных с воздействием радиации, обращением с радиоактивными веществами и безопасностью при использовании атомной энергии, реализован во многом благодаря активности трех международных организаций, чья деятельность продолжается более полувека. Частично эти вопросы рассмотрены в томе 1 настоящей монографии [1]. Рассмотрим их более детально уже в контексте проблем обращения с РАО.

Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ), деятельность которой началась в 1928 году, концентрирует внимание на вопросах защиты здоровья человека и, в более ограниченных объемах, объектов биосферы. Одна из последних базовых публикаций — Публикация 103 [2]. В отношении облучения населения от захоронения радиоактивных отходов комиссия продолжает рекомендовать величину граничной дозы для лиц из населения, не превышающую 0,3 мЗв в год. Впервые эта величина была заявлена в Публикации 77, а затем получила развитие применительно к захоронению долгоживущих РАО в Публикации 81.

Научный комитет по действию атомной радиации ООН (НКДАР ООН) был создан в 1955 году. Комитет сосредоточен на оценке уровней и последствий воздействия радиации на здоровье человека и окружающую среду и подготовке соответствующих докладов. Доклады НКДАР представляются Генеральной Ассамблее ООН и широко используются в качестве достоверного и всеобъемлющего источника информации. За время своего существования Комитет подготовил 17 научных докладов. Примечательно, что, приводя в докладах обширные оценки по источникам и дозам облучения работников и населения при осуществлении различных видов деятельности [3], Комитет не дает отдельных оценок по дозам облучения от РАО.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) выступает главным генератором современных представлений о безопасности при использовании атомной энергии. При формировании развернутой и иерархической системы документов оно ориентируется на лучшие и широко апробированные практики. Эта система документов будет рассмотрена ниже в применении к обращению с РАО.

Кроме этого документы, как правило, приобретающие статус признанных на международном уровне, выпускает Агентство по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ/ОЭСР) и Евроатом. Эта и ряд других международных организаций зачастую выступают партнерами МАГАТЭ в разработке его документов.

Все документы этих организаций носят исключительно рекомендательный характер, но они, как правило, и являются основой для выработки соответствующих национальных систем регулирования безопасности при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии. По некоторым вопросам, которые признаны наиболее актуальными и по которым достигнуто понимание по минимальному набору руководящих требований и принципов на международном уровне, принимаются более обязательные документы — конвенции, такие как Конвенция по ядерной безопасности (Вена, 17 июня 1994 г.) и Объединенная конвенция о безопасности

обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами (Вена, 5 сентября 1997 г.), непосредственно посвященные вопросам безопасности обращения с РАО.

## 2.1. Вопросы обращения с РАО в документах МАГАТЭ

Вопросы обеспечения безопасности на всех этапах жизненного цикла существующих и планируемых объектов и видов деятельности рассматриваются в различных документах МАГАТЭ, которые разрабатываются с учетом наилучшего опыта и практики стран, использующих атомную энергетику, включая вопросы обращения с радиоактивными отходами. Разрабатываемые МАГАТЭ документы имеют различные статусы и области применения. Так, например, технические документы МАГАТЭ (серия TECDOC) в основном содержат лучшие примеры международной практики по конкретным видам деятельности, систематизированную информацию по различным вопросам и ее анализ, или носят характер методических рекомендаций по осуществлению тех или иных процедур при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии. В качестве одного из примеров таких документов можно назвать Tecdoc 1041 1998 года [3], в котором рассматриваются вопросы обращения с малыми количествами радиоактивного отходов.

Целевое назначение данной серии — оказание помощи при выполнении определенных технических операций. Совсем иной статус, например, стандартов по безопасности. Стандарты по безопасности, по существу, должны служить основой при формировании национальных систем регулирования в области использования атомной энергии (законодательных норм, федеральных норм и правил). Документы именно этой серии в части обращения с радиоактивными отходами и будут далее предметом рассмотрения.

Начало разработке стандартов МАГАТЭ в области обращения с радиоактивными отходами было положено в 70-х годах прошлого столетия. Стандартизация как в области требований безопасности при обращении с радиоактивными отходами, так и в других областях велась весьма разрозненно, без взаимной увязки отдельных документов. В середине 90-х годов прошлого века был начат существенный пересмотр программы норм МАГАТЭ по безопасности, была введена пересмотренная структура комитета по надзору и принят системный подход к обновлению всего свода норм. Все это привело к тому, что в 1995 году Советом управляющих МАГАТЭ было принято решение о пересмотре всей системы стандартов безопасности — как ее структуры, так и содержания документов, входящих в систему.

Для реализации этой цели по решению Совета были созданы три комитета по стандартам безопасности, соответствующие различным видам деятельности в области использования атомной энергии, в том числе и безопасности при обращении с радиоактивными отходами (WASSC). Было принято решение создать систему стандартов, названную Safety Standard Series (SSS), которая и начала разрабатываться с 1996 г. Как результат, были разработаны три различных стандарта высшего уровня, не согласующиеся друг с другом. Кроме этого, поскольку к этому времени уже было разработано большое количество других стандартов, возникла необходимость пересмотра всей структуры документов путем объединения сходных или одинаковых требований и рекомендаций для различных типов установок и видов деятельности.

В этой ситуации Советом управляющих МАГАТЭ было принято очередное решение о еще одном пересмотре всей системы стандартов безопасности, в первую очередь о достаточно жесткой регламентации их сферы действия и организации более



стройной структуры всей системы документов в данной области. Конечным результатом принятого решения стало введение с 2008 г. новой универсальной пятиуровневой структуры системы стандартов безопасности (табл. 2.1.1).

Таблица 2.1.1

**Система стандартов безопасности МАГАТЭ**

Уровень	Краткое обозначение	Содержание
1	SF	Основы безопасности
2	GSRs	Общие требования по безопасности (применимы ко всем установкам и видам деятельности)
3	SSR	Специальные требования по безопасности (применимы к конкретным установкам и видам деятельности)
4	GSG	Общие руководства по безопасности (применимы ко всем установкам и видам деятельности)
5	SSG	Специальные руководства по безопасности (применимы к конкретным установкам и видам деятельности)

Понятно, что основной объем документов по обращению с РАО сосредоточен в документах уровня 3 и 5. Стандарты уровня 3 содержат требования по безопасности, применимые к установкам конкретных типов (атомные электростанции, исследовательские реакторы, установки ядерного топливного цикла, установки захоронения радиоактивных отходов) и двум видам деятельности (оценка площадки для ядерной установки, транспортировка радиоактивных материалов). Выделение этих двух видов деятельности обусловлено тем, что они не привязаны к конкретным типам установок, в то время как для иных видов деятельности (проектирование, строительство, ввод в эксплуатацию, вывод из эксплуатации и т. д.) требования по безопасности излагаются в соответствующих стандартах для конкретных типов установок.

Стандарты уровня 5 содержат рекомендации в отношении того, как выполнять требования по безопасности на конкретных типах установок и при осуществлении конкретных видов деятельности. Предполагается разработка более 60 стандартов уровня SSG. Среди них значительная часть будет непосредственно относиться к стандартам, устанавливающим требования безопасности при обращении с радиоактивными отходами. В последних, в частности, существенное место будет отведено вопросам организации безопасного захоронения радиоактивных отходов, включая такую категорию радиоактивных отходов, как отработавшие закрытые радионуклидные источники ионизирующего излучения. Последнее обстоятельство представляется достаточно значимым, поскольку отечественные национальные нормы в этой области практически отсутствуют.

В целом можно констатировать, что МАГАТЭ поступательно движется в сторону масштабного внедрения новых системных подходов в области разработки стандартов по обеспечению безопасности в различных сферах деятельности в области использования атомной энергии, включая как обязательный элемент обеспечение безопасности при обращении с радиоактивными отходами [4–17]. Рассмотрим некоторые из этих документов (табл. 2.1.2), понимая, что и ряд других стандартов (в первую очередь уровней GSG и GSR) также регулируют отдельные требования обеспечения безопасности, в том числе и при осуществлении различных видов деятельности и применении соответствующих установок, связанных с реализацией различных стадий обращения с радиоактивными отходами.



## Содержание основных документов по обращению с РАО

Наименование	Серия, №	Содержание
1	2	3
Размещение установок захоронения в геологических структурах (Siting of Geological Disposal Facilities)	Series No. 111-G-4.1, 1994	Захоронение низкоактивных и среднеактивных РАО в приповерхностных пунктах захоронения (хвостохранилища не рассматриваются). Рекомендации касаются выбора площадки, в том числе с учетом гидрогеологии, возможного использования земли, тектоники и сейсмичности и т.д. Управление процессом выбора площадки
Оценка безопасности приповерхностных захоронений радиоактивных отходов (Safety Assessment for Near Surface Disposal of Radioactive Waste)	Safety Guide Series No. WS-G-1.1, 1999	Описан подход к оценке безопасности, который включает: <ul style="list-style-type: none"> <li>● определение целей оценки, требования безопасности и критерии эффективности;</li> <li>● описание системы удаления, в том числе формы отходов, характеристики участка и инженерных сооружений;</li> <li>● определение особенностей, событий и процессов (FEPs), которые могут повлиять на характеристики в долгосрочной перспективе;</li> <li>● разработка и тестирование моделей поведения системы и ее компонентов и сценариев потенциальных путей поступления радионуклидов из хранилища в окружающую среду;</li> <li>● проведение оценок, оценка их надежности;</li> <li>● сравнение полученных результатов оценок с требованиями безопасности.</li> </ul> Список мероприятий, способствующих укреплению доверия к оценке
Обращение с радиоактивными отходами, образующимися при добыче и переработке руд (Management of Radioactive Waste from the Mining and Milling of Ores)	Safety Guide Series No. WS-G-1.2, 2002	Рекомендации, в основном, для урановых и ториевых руд в части разработки национальных административных, юридических и регулирующих основ. Описаны процессы по обеспечению безопасности персонала, населения и окружающей среды. Подробно рассмотрены варианты обращения с разными типами отходов, особое внимание уделено «хвостам». Содержится информация по обеспечению безопасности на разных этапах функционирования установок по обращению с такими отходами (выбор площадки, проектирование и сооружение, эксплуатация, закрытие, снятие регулирующего контроля)
Радиационная защита и обращение с радиоактивными отходами при эксплуатации атомных электростанций (Radiation Protection and Radioactive Waste Management in the Operation of Nuclear Power Plants)	Safety Guide Series No. NS-G-2.7, 2002	Рассмотрены вопросы минимизации образования РАО, подбора кадров и их компетенции, выбросов, применения разрешенных пределов, контрольных уровней, мониторинга окружающей среды. Описаны общие пути снижения выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду

Таблица 2.1.2. Продолжение

1	2	3
Обращение с радиоактивными отходами низкого и среднего уровня активности перед их захоронением (Predisposal Management of Low and Intermediate Level Radioactive Waste)	Safety Guide Series No. WS-G-2.5, 2003	Рекомендации по обращению с НСАО до их захоронения (кроме отходов, образующихся при добыче и переработке руд). Рекомендации по разграничению ролей и обязанностей регулирующего органа и оператора, в том числе по проектированию и эксплуатации установок, по установлению критериев приемлемости, а также ведению документации. В приложении даны характеристики и источники образования НСАО, основные требования к упаковкам РАО, характеристики площадки, а также постулируемые исходные события
Обращение с радиоактивными отходами высокого уровня активности перед их захоронением (Predisposal Management of High Level Radioactive Waste)	Safety Guide Series No. WS-G-2.6, 2003	Варианты обращения с жидкими высокоактивными отходами, с отработавшим ядерным топливом, в случае, когда ОЯТ относят к РАО, а также другими высокоактивными отходами. Требования по транспортированию. Рекомендации по разграничению ролей и обязанностей регулирующего органа и оператора. Общие рекомендации по безопасности обращения с ВАО. В приложениях документа приведены: практические этапы обращения с ВАО; характеристики площадки; процессы и события; постулируемые исходные события, учитываемые при проведении оценки безопасности
Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля (Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance)	Guide Series No. RS-G-1.7, 2004	Описано в разделе 1.2.3 настоящей монографии
Хранение радиоактивных отходов (Storage of Radioactive Waste)	Safety Guide Series No. WS-G-6.1, 2006	Информация для проектирования и эксплуатации от небольших до крупных хранилищ, например, специально выделенная площадка радиоактивных отходов. Данные рекомендации применимы к хранению твердых, жидких и газообразных РАО
Система административного управления для захоронения радиоактивных отходов (The Management System for the Disposal of Radioactive Waste)	Safety Guide Series No. GS-G-3.4, 2008	Описаны: система управления качеством, которая позволяет достигнуть этих целей безопасности, подходы к планированию и контролю процессов, управлению документами и организационными изменениями
Радиационная защита и обращение с радиоактивными отходами в проекте и при эксплуатации исследовательских реакторов (Radiation Protection and	Safety Guide Series No. NS-G-4.6, published Tuesday, March	Рассмотрены типы исследовательских реакторов и возможные источники излучения в них. Описаны вопросы, которые необходимо учесть при проектировании, эксплуатации, выводе из эксплуатации и возможных авариях. Рассмотрены этапы обращения с РАО, меры радиационной

Таблица 2.1.2. Продолжение

1	2	3
Radioactive Waste Management in the Design and Operation of Research Reactors)	10, 2009	безопасности и рекомендации по проведению мониторинга
Обращение с радиоактивными отходами перед захоронением (Predisposal Management of Radioactive)	General Safety Requirements Part 5 Series No. GSR Part 5, 2009.	Подробно рассмотрены основные требования на различных стадиях обращения с РАО, а также к разработке и эксплуатации установок по обращению с РАО
Специальные требования безопасности к захоронению радиоактивных отходов (Disposal of Radioactive Waste)	Series No. SSR-5, published Thursday, May 05, 2011.	Документ объединяет все стандарты и требования безопасности для пунктов захоронения. Рассмотрены принципы обеспечения безопасности человека и окружающей среды, обязанности правительства и необходимая нормативно-правовая база, различные подходы к обеспечению безопасности, в том числе пассивные средства, за счет использования которых после закрытия не потребуются применения активных мер, меры по обеспечению безопасности (критерии приемлемости, программы мониторинга, системы учета и контроля и т.д)
Классификация радиоактивных отходов (Classification of Radioactive Waste)	General Safety Guide Series No. GSG-1, 2009.	Даются рекомендации по классификации, будет рассмотрен детально
Скважинные установки для захоронения радиоактивных отходов (Borehole Disposal Facilities for Radioactive Waste)	Safety Guide Series No. SSG-1, 2009	Вопросы проектирования, строительства, эксплуатации и закрытия пунктов захоронения отработавших источников. Руководство в большей степени ориентировано на те, что размещены на глубине от нескольких десятков до сотен метров. Документ содержит перечень типичных радионуклидов ОЗРИ, которые размещаются в скважинные пункты захоронения, рекомендации по обеспечению безопасности уже существующих пунктов захоронения ОЗРИ скважного типа
Установки для захоронения радиоактивных отходов в геологических структурах (Geological Disposal Facilities for Radioactive)	Series No. SSG-14, 2011.	Очень детально рассмотрены вопросы реализации проектов геологического захоронения и реализации проекта. Рекомендации по подготовке отчета по обоснованию безопасности, выбору площадки и оценке безопасности после закрытия пункта захоронения
Оценка и обоснование безопасности захоронения радиоактивных отходов (The Safety Case and Safety Assessment for Radioactive Waste Disposal)	Specific Safety Guide, No SSG-23, 2012.	Рассмотрены вопросы оценки и демонстрации безопасности для всех типов объектов захоронения РАО. Особое внимание уделено оценке радиологического воздействия после закрытия пункта захоронения РАО

Все вышеупомянутые стандарты, как и обозначенные в дальнейшем, доступны на официальном сайте МАГАТЭ. Кроме перечисленных выше, в стадии разработки и рассмотрения в комитетах МАГАТЭ находятся следующие стандарты, непосредственно относящиеся к вопросам обращения с радиоактивными отходами:

- Обращение с радиоактивными отходами от реакторов перед захоронением (Predisposal Management of Radioactive Waste from Reactors).
- Обращение с радиоактивными отходами от установок топливного цикла перед захоронением (Predisposal Management of Radioactive Waste from Fuel Cycle Facilities).
- Мониторинг и эксплуатационный надзор за установками захоронения радиоактивных отходов (Monitoring and Surveillance of Radioactive Waste Disposal Facilities).
- Приповерхностное захоронение радиоактивных отходов (Near Surface Disposal of Radioactive Waste).
- Оценка и обоснование безопасности обращения с радиоактивными отходами перед захоронением (Safety Case and Safety Assessment for predisposal management of radioactive waste).

После аварии на АЭС «Фукусима-1» МАГАТЭ предприняло усилия с целью определить потребность в пересмотре стандартов с учетом опыта этой аварии. В отношении безопасности отходов Комитет МАГАТЭ по нормам безопасности отходов (WASSC) подтвердил, что необходимости дополнять требования в отношении безопасности отходов, содержащиеся в стандартах, нет. В целом можно констатировать, что все вопросы, связанные с обеспечением безопасности при обращении с радиоактивными отходами, являются значимыми на уровне МАГАТЭ, и им уделяется достаточно серьезное внимание.

## **2.2. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами**

Впервые признание необходимости разработки общего международного документа в области безопасного обращения с РАО было отражено в Базельской конвенции 1989 г. о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением, в статье 1 которой говорится о желательности укрепления системы международного контроля, непосредственно применяемой в отношении радиоактивных материалов.

Признание мировым сообществом роли безопасного и экологически обоснованного удаления РАО нашло свое решение также в главе 22 «Повестки дня на XXI век» конференции Организации Объединенных Наций в Рио-де-Жанейро в 1992 г., в которой говорилось о необходимости для всех государств поддержать усилия МАГАТЭ по разработке и распространению норм и руководств в области безопасности обращения с радиоактивными отходами, создавая тем самым международно приемлемую основу обеспечения безопасности и защиты окружающей среды при осуществлении деятельности с РАО.

Позже, в преамбуле Конвенции о ядерной безопасности 1994 г., также подтверждалась необходимость начала разработки международной конвенции о безопасном обращении с радиоактивными отходами, так как только в результате идущего процесса разработки основ безопасности при обращении с РАО будет достигнуто широкое международное согласие.

В марте 1995 г. Совет управляющих МАГАТЭ утвердил документ серии «Основы безопасности» — «Принципы обращения с радиоактивными отходами» и поддержал

предложение Генерального директора созвать Группу экспертов по правовым и техническим вопросам для проведения необходимой работы по подготовке проекта предлагаемой конвенции. К марту 1997 г. группой был подготовлен проект Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами.

Проект Объединенной конвенции обсуждался с 1 по 5 сентября 1997 г. на дипломатической конференции в Вене, в работе которой приняло участие 84 государства, а в качестве наблюдателей присутствовали МАГАТЭ, ЮНЕП (Секретариат Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных грузов и их удалением), ВОЗ, ОЭСР/АЯЭ и Европейская комиссия.

5 сентября 1997 г. конференция приняла Объединенную конвенцию, а также резолюцию, касающуюся трансграничного перемещения ОЯТ и РАО. Заключительный акт конференции был подписан представителями 65 государств 18 июня 2001 г.

Основным механизмом контроля соблюдения требований Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами (далее — Объединенная конвенция) являются совещания договаривающихся сторон. Согласно ст. 32 Объединенной конвенции каждая сторона представляет свой национальный доклад к каждому совещанию. Содержание и структура доклада определены ст. 32 Объединенной конвенции и требованиями «Руководящие принципы в отношении формы и структуры национальных докладов» (INFCIRC/604/rev.1) [18].

В соответствии с требованиями Объединенной конвенции и указанного руководящего документа каждая страна-участник конвенции описывает меры, принятые для выполнения взятых обязательств, включая такие вопросы, как:

- политика в области обращения с отработавшим топливом;
- практика обращения с отработавшим топливом;
- политика в области обращения с радиоактивными отходами;
- практика обращения с радиоактивными отходами;
- критерии, используемые для определения и классификации радиоактивных отходов.

Указанный доклад также должен включать:

- перечень установок для обращения с радиоактивными отходами, подпадающими под действие настоящей Конвенции, их местонахождение, основное назначение и важнейшие характеристики;
- инвентарный список радиоактивных отходов, подпадающих под действие настоящей Конвенции, которые содержатся в хранилище на установках для обращения с радиоактивными отходами и установках ядерного топливного цикла, были захоронены или являются результатом практической деятельности в прошлом.

Этот инвентарный список содержит описание материала и другую соответствующую информацию, такую, как информация об объеме или массе, активности и конкретных радионуклидах, перечень ядерных установок, находящихся в процессе снятия с эксплуатации, и состояние деятельности по снятию с эксплуатации на указанных установках.

Согласно ст. 32 Объединенной конвенции каждая сторона представляет свой национальный доклад к каждому совещанию. Рассмотрение доклада происходит в соответствии с требованиями [18] в рамках установленной процедуры продолжительностью более полугода.



В настоящее время Объединенную конвенцию ратифицировало 45 стран. Сопредседания договаривающихся сторон проходили в 2003, 2006, 2009 и 2012 годах. Очередное совещание назначено на 2015 год.

### **2.3. Лучшие мировые практики обращения с РАО**

Как правило, развитие практик начинается с более простых ситуаций, когда период потенциальной опасности РАО более короток и уровень рисков не так высок.

Это обуславливает более легкую возможность установления критериев приемлемости для захоронения — качественных и количественных требований для РАО, которые должны быть выполнены для того, чтобы отходы были приняты оператором хранилища для захоронения. Эти критерии, как правило, предлагаются оператором объекта и утверждаются соответствующими органами. В мировой практике сложилась ситуация, когда среди отходов низкой активности сформировалась еще более тонкая структура, а именно были выделены очень низкоактивные отходы, которые рассматриваются либо в рамках регулирования по радиационному принципу, либо вне его как обычные отходы отдельного вида. Наиболее быстрое захоронение отходов низкой активности связано и с трудностями достижения общественного согласия по вопросам захоронения РАО в случае их долгоживущего характера или высоких активностей. В отношении отходов очень низкой активности этого добиться гораздо проще.

#### **2.3.1. Очень низкоактивные отходы**

Категория очень низкоактивных отходов (ОНАО) в рамках регулирования по радиационному признаку была введена более 20 лет назад в Швеции [19], а потом и во многих других странах. В последней редакции классификации отходов МАГАТЭ [15] категория ОНАО представлена как новая категория, занимающая позицию между отходами, на которые распространяется освобождение и изъятие, и низкоактивными отходами, и определяется как: «Отходы, которые не соответствуют критериям освобождения или изъятия, но для которых не требуется высокий уровень изоляции и которые, следовательно, подходят для захоронения в приповерхностных насыпных хранилищах с ограниченным регулирующим контролем». Такие хранилища насыпного типа могут также содержать и другие отходы. Концентрация долгоживущих радионуклидов в ОНАО, в целом, очень ограничена.

Есть две основные причины введения данной категории отходов: упрощается процесс обращения с РАО и уменьшаются расходы по обращению с РАО, в частности, по их захоронению, не ставя под угрозу безопасность.

Зачастую трудно и дорого продемонстрировать соблюдение строгих ограничений, налагаемых для отходов, на которые распространяется изъятие. Внедрение категории ОНАО с низкой стоимостью захоронения привело к уменьшению необходимости настаивать на утилизации отходов, для которых существует риск того, что будет превышен уровень активности для ОИ; может быть даже экономически выгоднее захоронить отходы как ОНАО, чем пытаться проверить их на соответствие критериям отходов. Такой подход реализован во Франции.

Сегодня категория ОНАО является устоявшейся, и существуют действующие насыпные хранилища. Они, например, расположены на площадках АЭС (Швеция), но есть также и централизованные национальные объекты (Франция). Основная часть ОНАО будет образовываться в результате вывода из эксплуатации.

Уровень активности ОНАО по определению является очень низким, а короткоживущие радионуклиды преобладают в их составе. Основным радионуклидом в ОНАО, образуемых в результате эксплуатации реактора, является продукт активации  $^{60}\text{Co}$  с периодом полураспада 5 лет, лишь 0,1% от первоначальной активности остается по прошествии 50 лет. Соотношение между продуктами деления и продуктами активации, как правило, меньше, чем 1:400, и соответствующие соотношение для трансурановых элементов составляет 1:25 000 с обычным диапазоном соотношений от 1:10 000 до 1:350 000. Удельная активность колеблется, но обычно значения активности находятся ниже нескольких сотен Бк/г для большинства бета- и гамма-излучающих радионуклидов (Швеция) или 100 Бк/г (Франция) и на два или три порядка меньше для альфа-излучающих радионуклидов и очень долгоживущих радионуклидов.

В качестве примера можно привести основные критерии ОНАО для захоронения в насыпных хранилищах в Швеции [20]:

- удельная активность радионуклидов с периодом полураспада  $> 5$  лет не должна превышать 300 кБк/кг;
- мощность поверхностной дозы упаковок с отходами  $< 0,5$  мЗв/ч;
- для каждой упаковки отходов производится измерение и учет количества нуклидов.

Следует отметить, что на данный момент в Швеции в насыпных хранилищах разрешается располагать только ОНАО, образованные в результате эксплуатации АЭС.

Кроме того, следует отметить, что ОНАО захораниваются в течение нескольких лет с момента их образования, и для таких отходов известно, что альфа-излучающие радионуклиды составляют менее 0,1% от общего количества отходов. Поэтому не было необходимости устанавливать специальные ограничения по радионуклидам, однако в настоящее время ведется подготовка к пересмотру критериев приемлемости отходов и, среди прочих, введению таких ограничений.

Количества ОНАО в разных странах варьируются, в частности, в зависимости от результатов ядерной программы этих стран. В Евросоюзе за 2004 год было произведено 18 000 м<sup>3</sup> ОНАО. Во Франции образование ОНАО в течение следующих 30 лет оценивается величиной около 800 000 тонн, включая отходы от вывода из эксплуатации, в Испании — величиной в 120 000 м<sup>3</sup>, включая отходы от вывода из эксплуатации существующих установок. На АЭС «Форсмарк» (Швеция) с тремя реакторами в 2005 году было произведено 148 тонн ОНАО для захоронения в насыпных хранилищах, что соответствует 65% от общего количества образованных там эксплуатационных отходов.

Поскольку насыпные хранилища являются очень простыми объектами, которые могут быть созданы на базе уже существующих технологий при относительно небольших затратах, страны, имеющие категорию отходов ОНАО, уже создали или создают насыпные хранилища. В этом случае производимые ОНАО можно захоронить без продолжительного периода хранения, который потребовался бы для их накопления в достаточном объеме для массового захоронения (на АЭС в Швеции ОНАО захораниваются каждые 2–5 лет) или транспортировки в центральное хранилище (как в случае с Францией). И в том, и в другом случае нет необходимости строить дорогие временные хранилища ОНАО, требуется лишь небольшой промежуточный склад.

Все насыпные захоронения имеют очень схожую конструкцию, которая состоит из пассивных барьеров в форме геотекстиля, геобентонита, глины над землей и бетонной плиты и/или морены в качестве нижнего слоя. Для того, чтобы сохранить форму насыпного захоронения, несжимаемые отходы помещаются в середину, а жи-

маемые отходы располагаются вокруг. Пустоты заполняются песком или другим инертным материалом. Существуют очень строгие критерии приемлемости для ОНАО, основными составляющими которых являются короткоживущие радионуклиды, активность отходов в хранилище обычно достигает уровня освобождения от контроля менее чем за 100 лет.

В различных странах есть много примеров существующих объектов окончательного захоронения ОНАО. Основное отличие заключается в стратегии захоронения.

Во многих странах, таких как Швеция, насыпные хранилища расположены на площадке, где образуются отходы, на ядерных объектах. Преимущество такого варианта состоит в том, что нет необходимости в привлечении внешнего транспорта и легко осуществлять программы экологического контроля за хранилищами. Программа экологического контроля будет координироваться с той, которая используется для эксплуатации ядерного объекта. В других странах, таких как Франция и Испания, хранилища ОНАО располагаются или будут располагаться на площадке хранилища НАО или рядом с ней. Преимущество такого варианта состоит в меньшем количестве хранилищ в стране, однако возникают более крупные объемы перевозок и становится больше требований к упаковке и кондиционированию отходов перед их транспортировкой в хранилище.

Приведем примеры действующих объектов захоронения ОНАО.

**Франция [21].** Хранилище для захоронения ОНАО во Франции является одним из централизованных объектов, построенных аналогично хранилищам для нерадиоактивных опасных отходов. Отсеки для захоронения выкапываются в слое глины и покрываются верхним слоем глины при заполнении. В эти отсеки могут помещаться как радиоактивные, так и нерадиоактивные отходы. Хранилище эксплуатируется национальным оператором отходов ANDRA (рис. 2.3.1).

Хранилище ОНАО построено на площадке в Morvillers в непосредственной близости от центра захоронения De L'Aube, в котором размещаются низко- и среднеактивные короткоживущие отходы. Радиологическая емкость (табл. 2.3.1) предусмат-



Рис. 2.3.1. Расположение площадки в Морвилльере близко к центру в де Л'Об



Радиологическая емкость объекта в Морвильере

Нуклид	Активность (ГБк)	Нуклид	Активность (ГБк)	Нуклид	Активность (ГБк)
$^{14}\text{C}$	9,000	$^{36}\text{Cl}$	64	$^{79}\text{Se}$	740
$^{90}\text{Sr}$	3,7000	$^{99}\text{Tc}$	130	$^{108\text{m}}\text{Ag}$	3,8
$^{126}\text{Sn}$	100	$^{129}\text{I}$	31	$^{135}\text{Cs}$	1,800
$^{226}\text{Ra}$	1,400	$^{232}\text{Th}$	11,6	$^{239}\text{Pu}$	1,200

ривает захоронение 650 000 м<sup>3</sup> отходов. Оценка безопасности показала низкие дозы и отсутствие последствий от химического воздействия. Лицензирование этого объекта в соответствии с природоохранным законодательством Франции не является вопросом ядерной деятельности.

**Швеция.** Шведские насыпные захоронения (табл. 2.3.2) расположены на электростанциях и эксплуатируются АЭС. Объекты строятся выше уровня воды и имеют водонепроницаемое покрытие. Нижний слой может быть разным, от бетонной плиты до моренового основания. Все объекты расположены близко к берегу моря. В случае утечки предусмотрено использование систем АЭС. В некоторых местах существуют сорбционные слои, которые могут поглощать радионуклиды, но, с другой стороны, эти слои могут привести к нежелательному повышению концентрации активности в случае, если произойдет утечка. Насыпные хранилища с емкостью ниже 10 ГБк, из которых менее 10 ГБк составляет  $\beta$ -активность, лицензируются Шведским агентством по радиационной безопасности (SSM). Условия лицензирования требуют, чтобы:

- захоронение проводилось партиями (кампаниями);
- отходы покрывались изолирующим материалом для предотвращения попадания воды (и утечки радионуклидов из хранилища);



Рис. 2.3.2. Пункт захоронения ОНАО в ходе кампании по загрузке

Таблица 2.3.2

Данные по пунктам захоронения ОНАО в Швеции

	<b>Oskarshamn:</b> эксплуатация начата в 1986 году Расширено в 2004 году	<b>Studsvik:</b> эксплуатация начата в 1988 году	<b>Forsmark:</b> эксплуатация начата в 1989 году	<b>Ringhals:</b> эксплуатация начата в 1993 году
<b>Основная конструкция</b>	Наземное сооружение, непроницаемое основание, вода направляется во внешнее фильтрующее основание	Траншейный тип хранилища с верхним покрытием высотой 1 метр над поверхностью земли	Наземное сооружение с покрытием низкой проницаемости	Наземное сооружение, непроницаемое основание горных пород, вода направляется во внешнее фильтрующее основание
<b>Конструкция покрытия</b>	Смешанный слой бентонита и дренажного пластика, защитный слой морены и грунта	Слой глины, покрытый пластмассовым дренажем и защитным слоем морены и грунта	Слой ледниковой глины, покрытый мореной и грунтом	Бентонитовое покрытие со слоем дренажного пластика и защитным слоем морены и грунта
<b>Конструкция барьера</b>	Внешнее фильтрующее основание, содержащее смесь песка, гравия и органических материалов (при расширении)	Нет инженерных барьеров, кроме верхнего покрытия. Внизу под отходами находится природная морена	Нет инженерных барьеров, кроме верхнего покрытия. Внизу под отходами находится уплотненная морена	Нет инженерных барьеров, кроме верхнего покрытия. Внешнее фильтрующее основание, содержащее смесь песка, гравия и органических и материалов

- конструкция и строительство были одобрены SSM;
- общая активность < 200 ГБк (для площадки Рингхалс (Ringhals) < 300 ГБк);
- концентрация активности в упаковках отходов была < 300 кБк/кг для нуклидов с периодом полураспада > 5 лет;
- мощность поверхностной дозы упаковок отходов была < 0,5 мЗв/ч.

Положительный опыт (более 20 лет) эксплуатации насыпных захоронений (рис. 2.3.2) продемонстрировал единственную проблему, связанную с расширением верхнего покрытия при добавлении новой партии отходов для захоронения.

### 2.3.2. Низкоактивные отходы

В новой классификации радиоактивных отходов МАГАТЭ [15] введена категория низкоактивных отходов — НАО. Грубо говоря, НАО заменяет старую категорию низкоактивных и среднеактивных короткоживущих отходов, НСАО-КЖ, которая до сих пор используется во многих других странах. В [15] НАО определяются как «отхо-



ды, значения активности которых расположены выше уровней освобождения от контроля, но с ограниченным количеством долгоживущих радионуклидов. Такие отходы требуют надежной изоляции и предотвращения распространения радиоактивности на период до нескольких сот лет и подходят для захоронения в инженерных приповерхностных хранилищах». Этот класс охватывает очень широкий спектр отходов.

НАО могут включать короткоживущие радионуклиды с более высокими уровнями концентрации активности и долгоживущие радионуклиды с относительно низкими уровнями концентрации активности. Таким образом, отходы данной категории можно захоронить в хранилище с инженерно-техническими барьерами на поверхности или в приповерхностном слое.

Существует общее мнение, что для захоронения НАО могут создаваться приповерхностные хранилища, отвечающие современным требованиям безопасности, и что хранилища могут создаваться на основе уже существующих технологий. Действительно, в мире эксплуатируется большое количество современных приповерхностных хранилищ, много строится. Приповерхностные хранилища принимают, по массе и объему, основную часть захораниваемых РАО. Конструкция действующих хранилищ НАО может варьироваться от относительно простого приповерхностного хранилища до хранилища, расположенного глубже в стабильных геологических формациях с более сложными инженерно-техническими барьерами.

Основная часть радионуклидов короткоживущие, с удельной активностью до  $10^5$ – $10^6$  Бк/г, при том, что удельная активность долгоживущих радионуклидов ниже — до 100–1000 Бк/г. В отходах от вывода из эксплуатации содержится, как правило, несколько более высокий процент долгоживущих радионуклидов, поскольку строительные материалы подвергаются нейтронному облучению на протяжении длительного периода, до 50 лет.

В мире ежегодно производится около 50 миллионов м<sup>3</sup> НАО. В середине 2000-х годов годовое производство НАО в Евросоюзе составило 62 000 м<sup>3</sup> [22], около 80% поступало на захоронение в лицензированные приповерхностные пункты захоронения. Вопрос о создании промежуточных хранилищ НАО является предметом национальной политики. Например, в Швеции уже в течение 1970-х годов было принято решение о создании объектов захоронения для НСАО-КЖ, и потому промежуточные хранилища для НАО на АЭС не создавались, кроме одного объекта, решение по которому было принято до разработки национальной политики. Страны, которые не имеют пунктов захоронения, вынуждены создавать объекты промежуточного хранения достаточной емкости.

Поскольку НАО содержат радионуклиды, которые остаются потенциально опасными на протяжении сотен лет, для приповерхностного хранилища необходима система многочисленных инженерно-технических барьеров для того, чтобы обеспечить их изоляцию от биосферы. Хранилище может быть создано на поверхности или заглубленным.

Независимо от проекта безопасность приповерхностного хранилища основывается на инженерных барьерах и начинается с форм отходов и характеристик отходов, которые будут захоронены, что количественно определено в критериях приемлемости отходов для конкретной площадки. Все действующие хранилища имеют утвержденные критерии приемлемости отходов, однако критерии различаются в зависимости от характеристик конкретной площадки и решений национальных властей.

Как правило, предполагается, что приповерхностное хранилище будет контролироваться различным образом, активно или пассивно, по крайней мере, в течение 300 лет после закрытия.

В мире есть несколько действующих объектов. Основные подходы к разработке хранилищ схожи, но отличаются друг от друга в деталях, что проиллюстрировано на следующих примерах.

**Франция.** Франция имеет большой опыт разработки приповерхностных хранилищ. Объект приповерхностного захоронения отходов НСАО-КЖ (объект CSM), расположенный в районе Манш (Manche) и находящийся рядом с перерабатывающим заводом в Ла Аг (La Hague), был введен в эксплуатацию в 1969 году. В хранилище поступило 527 000 м<sup>3</sup> отходов до июня 1994 года, когда операции по захоронению были прекращены.

После закрытия хранилище было покрыто многослойным защитным инженерным покрытием, и с 1997 года проводился активное наблюдение за его состоянием. В январе 2003 года оно получило лицензию для осуществления ведомственного контроля на этапе после закрытия (рис. 2.3.3). Переход от эксплуатации к ведомственному контролю является предметом лицензирования, аналогично тому, что необходимо при строительстве и вводе в эксплуатацию ядерной установки, включая изучение общественного мнения. Тем не менее, перечень отходов хранилища Ла-Манш не так хорошо известен, поскольку в период эксплуатации этого хранилища (в 70-е и 80-е годы) процедуры контроля качества не были внедрены, и в отходах содержатся некоторые долгоживущие радионуклиды. Это означает, что период ведомственного контроля может длиться, по крайней мере, 500 лет вместо планового 300-летнего периода.

В середине 1980 гг. организация по обращению с отходами, ANDRA, спроектировала новое поверхностное хранилище, расположенное в 250 км к востоку от Парижа, в районе Об (Aube), Centre de Stockage de l'Aube, CSA. В конструкции этого хранилища использовались уроки, полученные в результате эксплуатации хранилища площадки CSM. Оно было введено в эксплуатацию в январе 1992 года. Хранилище построено с целью иметь емкость в один миллион м<sup>3</sup> и зону захоронения в 0,3 км<sup>2</sup>, что составляет половину всей территории площадки. Емкости хранилища должно хватить, чтобы удовлетворить потребности Франции, по крайней мере, до 2040 года.

Площадка была выбрана благодаря своей простой геологии, которая соответствует требованиям безопасности — слой песка над непроницаемым слоем глины. Объект построен на этом слое песка. Речка обеспечивает дренаж грунтовых вод на площадке.

Нижняя часть хранилища находится выше уровня грунтовых вод, таким образом предотвращено поступление воды и контакт с отходами. Отходы расположены в камерах, которые во время работы находятся под передвижными крышами (рис. 2.3.4).



Рис. 2.3.3. Закрытое приповерхностное хранилище в La Manche



Рис. 2.3.4. Камеры с подвижными крышами на площадке CSA

Все процессы внутри объекта осуществляются с помощью дистанционного управления и подключены к компьютерной системе, позволяющей отслеживать каждую упаковку внутри объекта в любое время. Обе площадки CSM и CSA разработаны с применением многослойного покрытия для снижения риска проникновения воды и системы регенерации вод на случай возможного просачивания воды. Вода, собирающаяся в системе, находится под постоянным контролем. Первые упаковки радиоактивных отходов были получены площадкой CSA в январе 1992 года. С июля 1994 года объект l'Aube принимает все низко- и среднеактивные короткоживущие отходы Франции. На 2007 год более 200 000 м<sup>3</sup> РАО были захоронены на площадке CSA.

**Швеция.** В Швеции центральное хранилище для НСАО-КЖ (ХКО) эксплуатируется с 1988 года, после строительства в течение пяти лет. Оно расположено на глубине 60 метров в скале, которая в настоящее время покрыта 6-метровым слоем воды.

Ожидается, что в связи со смещением береговой линии на этом месте примерно через 1000 лет будет суша. Хранилище построено и эксплуатируется компанией SKB и предназначено для хранения отходов объемом 63 000 м<sup>3</sup>. Первоначально предполагалось, что это будет первый этап строительства хранилища общей емкостью 90 000 м<sup>3</sup> для нужд всей шведской программы захоронения. Однако благодаря программе минимизации отходов существующая в настоящее время емкость считается достаточной для этих целей. На данный момент захоронено немногим более 30 000 м<sup>3</sup>.

Расходы на строительство и эксплуатацию этого хранилища не покрываются Шведским фондом обращения с ядерными отходами (Swedish Nuclear Waste Fund), который финансирует исключительно будущие расходы по захоронению ОЯТ и отходов от вывода из эксплуатации ядерных объектов. Хранилище расположено в непосредственной близости от АЭС Форсмарк и состоит из одного большого вертикального отсека (silo) и четырех горизонтальных отсеков с различными инженерными барьерами, уровень защиты которых соответствует уровням активности отходов, которые будут расположены в различных секциях хранилища. Данные по планируемой радиологической емкости приведены в табл. 2.3.3 к моменту закрытия, которое может состояться в 2030 году. Радионуклидный состав НАО варьируется в зависимости от происхождения отходов и участка захоронения (табл. 2.3.4).

Хранилище расположено в кристаллической породе, которая благодаря своей высокой стабильности уже доказала, что подходит для размещения в ней отходов.

Таблица 2.3.3

**Суммарные активности основных радионуклидов в хранилище ХКО-1 на момент закрытия (2030 г.) [23]**

Нуклид	Активность, Бк	Нуклид	Активность, Бк
H-3	$6,2 \cdot 10^{11}$	Ba-133	$5,1 \cdot 10^{10}$
C-14	$2,6 \cdot 10^{13}$	Cs-134	$1,1 \cdot 10^{14}$
Cl-36	$5,1 \cdot 10^{10}$	Cs-135	$2,6 \cdot 10^{10}$
Fe-55	$6,5 \cdot 10^{14}$	Cs-137	$2,7 \cdot 10^{15}$
Ni-59	$2,4 \cdot 10^{13}$	Pm-147	$1,4 \cdot 10^{14}$
Co-60	$1,9 \cdot 10^{15}$	Sm-151	$1,2 \cdot 10^{13}$
Ni-63	$4,0 \cdot 10^{15}$	Eu-152	$5,3 \cdot 10^{11}$
Se-79	$2,1 \cdot 10^{10}$	Eu-154	$8,2 \cdot 10^{13}$
Sr-90	$2,6 \cdot 10^{14}$	Eu-155	$2,5 \cdot 10^{13}$
Mo-93	$1,2 \cdot 10^{11}$	Ho-166m	$9,4 \cdot 10^{10}$
Nb-93m	$8,2 \cdot 10^{12}$	Pu-238	$3,0 \cdot 10^{12}$
Zr-93	$2,4 \cdot 10^{10}$	Pu-239	$3,0 \cdot 10^{11}$
Nb-94	$2,4 \cdot 10^{11}$	Pu-240	$5,9 \cdot 10^{11}$
Tc-99	$2,6 \cdot 10^{13}$	Am-241	$6,1 \cdot 10^{12}$
Ru-106	$2,9 \cdot 10^{11}$	Pu-241	$3,2 \cdot 10^{13}$
Ag-108m	$1,4 \cdot 10^{12}$	Am-243	$2,7 \cdot 10^{10}$
Cd-113m	$8,7 \cdot 10^{11}$	Cm-243	$1,1 \cdot 10^{10}$
Sb-125	$6,6 \cdot 10^{13}$	Cm-244	$1,2 \cdot 10^{12}$
<b>Итого</b>			<b><math>1,0 \cdot 10^{16}</math></b>

Его было решено построить в море в связи с крайне низкой вероятностью того, что здесь могут быть пробурены скважины, которые могут пройти через хранилище. Такое бурение теоретически могло бы привести к небольшим выбросам радионуклидов в биосферу. Местоположение хранилища было также выбрано в связи с низким гидравлическим градиентом грунтовых вод в этом районе. Расположение поблизости от действующей АЭС помогло получить общественное одобрение строительства хранилища.

ХКО является исключительно площадкой захоронения, ни кондиционирование отходов, ни переработка других отходов на ней не осуществляются. Упаковки отходов, готовые к захоронению, прибывают на специальном судне Sigyn, которое разработано для перевозки РАО и ОЯТ. После закрытия будет служить пассивным хранилищем. Хранилище было разработано таким образом, что оно может быть оставлено без надзора после его закрытия без принятия дальнейших мер по поддержанию его функций изоляции РАО от биосферы. Четыре отсека захоронения и один вертикальный отсек (silo) находятся в скале (рис. 2.3.5). В настоящее время они имеют выход на поверхность земли через два параллельных километровых туннеля. Отсек silo выполнен из бетона и расположен в шахте 70-метровой глубины. В хранилища предусмотрено размещение различных типов РАО (табл. 2.3.4 и 2.3.5).

### 2.3.3. Среднеактивные отходы

В новой классификации радиоактивных отходов МАГАТЭ введена категория среднеактивных отходов, САО. Грубо говоря, САО заменяет старую категорию низко- и среднеактивных долгоживущих отходов, НСАО-ДЖ. В [15] САО определяются как



## Критерии приемлемости для отходов, которые должны быть захоронены в пункте окончательного захоронения короткоживущих радионуклидов в Швеции (ХКО)\*

Требования к эксплуатации	Silo	ВМА	1ВТФ	2ВТФ	ВЛА
1	2	3	4	5	6
Конструкция, геометрия и размеры	Металлические или бетонные формы размером 1,2 × 1,2 × 1,2 м. Подставки для бочек с размером основания 1,2 × 1,2 м и высотой 1 м. Контейнеры нетипичных размеров могут быть на участке ВМА на более поздней стадии захоронения, но до герметизации		Бетонные емкости с внешними размерами L × B × H = 3,300 × 1,300 × 2,300 мм.  Стандартная бочка 200 л.  Нетипичные размеры могут использоваться после их оценки		Стандартные контейнеры 10' и 20'
Вес	Максимально 5 тонн на форму. Максимально 500 кг на бочку для подставки с 4 бочками.		Максимально 18 тонн		Максимально 20 тонн на 20-футовый контейнер. Максимально 10 тонн на 10-футовый контейнер
Маркировка	Контейнеры должны иметь уникальную и четкую маркировку. Эта маркировка должна понятно читаться по крайней мере 30 лет или до момента герметизации захоронения				
Содержание радионуклидов	Оценивается по каждому типу отходов				
Поверхностная доза и мощность дозы на заданном расстоянии	Мощность поверхностной дозы – 500 мЗв/ч	Мощность поверхностной дозы 100 мЗв/ч (самая высокая 20 % всех упаковок > 30 мЗв/ч)	Мощность поверхностной дозы 10 мЗв/ч		Мощность поверхностной дозы 2 мЗв/ч (согласно правилам транспортировки МАГАТЭ)
Поверхностное загрязнение	Поверхностное загрязнение должно включать менее 40 кБк/м <sup>2</sup> для бета- и гамма- и менее 4 кБк/м <sup>2</sup> для альфа-радионуклидов				
Влияние радиации	Оценивается по каждому типу отходов				
Радиологическая однородность	Оценивается по каждому типу отходов				
Состав и структура	Химический состав и структура контейнеров для отходов должны соответствовать указанным спецификациям				



Таблица 2.3.4. Продолжение

1	2	3	4	5	6
Химическая однородность	Содержание упаковок отходов должно быть однородным, чтобы не были потеряны физические и химические характеристики, одобренные с позиции безопасности и радиационной защиты				Нет принципиальных требований
Жидкости	Упаковка не должна содержать свободной жидкости				
Устойчивость к коррозии	Должны выдерживать все этапы обращения, включая захоронение, или, по меньшей мере, 30 лет				
Выход газа	Ограниченные количества, оцениваются для каждого типа отходов и секции хранения				
Воспламеняемость/устойчивость к возгоранию	Содержание контейнеров может не быть самовоспламеняющимся и должно также выдерживать незначительное возгорание без недопустимого выброса радионуклидов. Отходы могут не содержать взрывчатые вещества				
Химическая активность	Оценивается по каждому типу отходов				
Вымывание	Оценивается по каждому типу отходов, должно также соответствовать критериям транспортировки				
Вещества, опасные для окружающей среды	Небольшие количества свинца, асбеста и эпоксидных смол могут содержаться в отходах после проведения оценки. В принципе захоронение различных опасных веществ не допускается				
Устойчивость к внешнему воздействию	Установка 42 форм в высоту или 56 бочек в высоту	Установка 6 форм в высоту или 8 бочек. Должно выдержать падение с высоты 9 м без недопустимого распространения радиоактивности	Контейнер должен выдержать поднятие автопогрузчиком и укладку двух штук в высоту с перегрузкой в 30 кН. Контейнер должен выдерживать опрокидывание и падение с высоты 2,5 м без выпадения содержимого.	Установка 3 контейнеров в полную высоту или 6 контейнеров в половину высоты	
Внешняя механическая устойчивость	Необходимо выдерживать температуры 0–30 °С и помещение в температуру до –20 °С на короткий период времени. Распухание оценивается для каждого типа отходов и секции хранилища. Типы отходов могут оцениваться отдельно, если отдельно указывается другой диапазон температур				

\* Выдержка из главы 4 Руководства SKB по захоронению низко- и среднеактивных отходов с объяснением аббревиатур для разных частей пункта окончательного захоронения. Silo, BMA, BTF and BMA являются разными частями этого хранилища.

Таблица 2.3.5

Основные характеристики радиоактивных отходов в различных частях ХКО

Часть хранилища	SILO	BMA	1BTF, 2BTF	BLA
Категория отходов	CAO	CAO	CAO	CAO
Тип отходов	Отвержденные ионообменные смолы (битум, цемент). Металлы. Минимум органических материалов	Отвержденные ионообменные смолы (битум, цемент). Стабилизированные металлолом и щебень	Ионообменные смолы, фильтрующие материалы, крупный металл (парогенераторы, крышка корпуса реактора)	Металлолом, целлюлоза, другие органические материалы, изоляционные материалы
Тип упаковки	Бочки	Бочки	Бетонные баки (и бочки 1 BTF)	Контейнеры стандарта ISO (бочки, ящики, тюки)
Количество нуклидов	$9,3 \cdot 10^{15}$ Бк (~92%)	$5,9 \cdot 10^{14}$ Бк (~ 6%)	$1,4 \cdot 10^{14}$ Бк	$1,2 \cdot 10^{13}$ Бк
Доминирующие нуклиды	Co-60, Cs-137 трансурановые элементы	Co-60, Cs-137	Co-60, Cs-137 (трансурановые элементы)	Co-60
Предел мощности дозы	< 500 мЗв/ч	< 100 мЗв/ч	< 10 мЗв/ч	< 2 мЗв/ч
Поверхностное загрязнение	40 кБк/м <sup>2</sup> — гамма, бета; 4 кБк/м <sup>2</sup> — альфа			

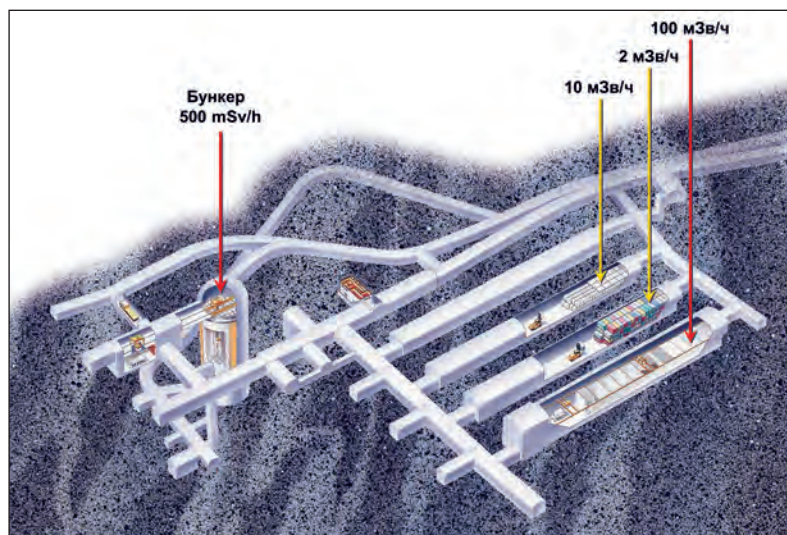


Рис. 2.3.5. Схема ХКО

«отходы, которые, в силу своего содержания, особенно долгоживущих радионуклидов, требуют большей степени удержания и изоляции, чем это предусмотрено в приповерхностном хранилище». Для CAO не нужны или нужны в ограниченном количестве условия для тепловыделения во время хранения и захоронения этих отходов. CAO

могут содержать долгоживущие радионуклиды, в частности альфа-излучающие радионуклиды, которые не будут распадаться до уровня концентрации активности, приемлемой для приповерхностного захоронения в течение времени, на которое может быть наложен ведомственный контроль. Поэтому для отходов этого класса необходимо осуществлять захоронение на большей глубине, порядка от нескольких десятков метров до нескольких сотен. Эта категория отходов требует захоронения в геологических хранилищах с инженерно-техническими барьерами на средней глубине.

Существует только одно действующее хранилище САО в мире. Это опытная установка по изоляции отходов (WIPP) в США. Тем не менее, установка WIPP является вторым подземным хранилищем САО. Первым было немецкое хранилище в г. Асс (Asse), расположенное в старой соляной шахте. В настоящее время хранилище закрыто, но в период с 1965 по 1978 годы в нем было захоронено почти 50 000 м<sup>3</sup> отходов.

САО, образованные в результате переработки, характеризуются относительно высоким содержанием долгоживущих актинидов, в том числе плутония, но они также содержат высокоактивные металлические части тепловыделяющих сборок с высокой концентрацией продуктов активации. САО от эксплуатации и вывода из эксплуатации АЭС состоят из высокоактивных компонентов активной зоны реактора, например, стержни управления и защиты, и образуются как во время технического обслуживания, так и вывода из эксплуатации.

Кроме того, старые радиоактивные отходы, образованные в результате проведения исследований и содержащие долгоживущие радионуклиды, возможно, также требуют более надежной изоляции от окружающей среды по сравнению с той, которую может обеспечить приповерхностное хранилище. Концентрация активности отходов высокая, как правило, до 10<sup>8</sup> Бк/г для продуктов деления и активации и 10<sup>6</sup> Бк/г для актинидов.

В процессе переработки ОЯТ на каждую тонну тяжелых металлов образуется 0,35–0,8 м<sup>3</sup> САО, референтная АЭС ежегодно производит 5 тонн, а в течение всего жизненного цикла 10<sup>3</sup>–10<sup>5</sup> тонн САО. Для газоохлаждаемых реакторов существует большое количество графита с удельной активностью 10<sup>4</sup>–10<sup>5</sup> Бк/г, в основном <sup>14</sup>C, который рассматривается как САО, требующие геологического захоронения. Количество отходов на один реактор составляет порядка 1 000 тонн.

В настоящее время есть только один действующий экспериментальный объект, отвечающий за захоронение САО, и в настоящее время нет международного консенсуса в вопросе о том, каким образом должны быть спроектированы и как должны эксплуатироваться такие хранилища. Не существует также критериев приемлемости отходов для САО для конкретной площадки, за исключением установки WIPP в США. Поэтому все производимые САО требуют хранения в течение значительного периода времени, которое обычно осуществляется на месте их производства.

Установка WIPP находится примерно в 26 милях к востоку от г. Карлсбад, Нью-Мексико, в толстой (около 1000 м) соляной формации, которая остается стабильной на протяжении уже более чем 250 миллионов лет. Соль была выбрана потому, что она является пластичной и способна, как считается, герметизировать какие-либо трещины, которые могут в ней образоваться.

Обследование площадки было начато в шестидесятые годы и привело к выводу о том, что эти соляные формации подходят по своим свойствам и местоположению. Площадка находится в пустынной местности с низкой плотностью населения.

Министерство энергетики США начало планирование работ на объекте в 1974 г. 26 марта 1999 г., после более чем 20 лет научных исследований, консультаций с об-

щественностью и борьбы регулирующих органов, установка WIPP начала работать. Ожидается, что работы по захоронению будут продолжаться вплоть до 2070 г. при активном мониторинге в течение дальнейших сотен лет. К 2006 г. на установку было осуществлено 5000 перевозок отходов. В 2006 г. установка WIPP была заново сертифицирована Агентством по охране окружающей среды США. Повторная сертификация установки WIPP происходит каждые пять лет.

Установка WIPP получила лицензию на захоронение нетепловыделяющих трансурановых отходов, образованных в результате проведения исследований и производства ядерного оружия. Отходы включают в себя защитную одежду, лабораторное испытательное оборудование и реактивы, детали машин и затвердевший шлам, содержащий актиниды. Отходы были накоплены за последние 50 лет вследствие разработки и производства оружия на оборонных объектах США. Ожидается, что будущие трансурановые отходы будут образованы в результате очистки загрязненных площадок и выводимых из эксплуатации объектов американского оружейного комплекса.

В настоящее время трансурановые отходы, упакованные в стальные бочки объемом 55 галлонов и деревянные ящики, хранятся в различных местах по всей стране. Общий объем вместимости хранилища составляет около 175 600 м<sup>3</sup>. Отходы размещаются в помещениях, сооруженных на глубине 655 м.

В Соединенном Королевстве основная часть CAO производится на перерабатывающем предприятии в Селлафилде (Sellafield). Остальная треть содержится на АЭС с магноксовыми ядерными реакторами, лицензированных ядерных объектах компании UKAEA и в Научно-исследовательском центре ядерного оружия (Atomic Weapons Establishment) в Олдермастоне (Aldermaston). В настоящее время около 21 000 м<sup>3</sup> CAO упакованы примерно в 40 000 упаковок, которые располагаются в современных инженерных хранилищах в ожидании возможного варианта захоронения в Великобритании. Управление по выводу ядерных объектов из эксплуатации (Nuclear Decommissioning Authority — NDA) определило стандарты и спецификации для упаковок и осуществляет консультирование производителей отходов по вопросам упаковки CAO.

Во Франции обращение с долгоживущими CAO (в том числе отходами, содержащими радий, и графитовыми отходами) в настоящее время является предметом исследований, выполняемых Национальным агентством Франции по обращению с РАО (ANDRA). В настоящее время отходы хранятся в местах их образования в ожидании появления специализированного пункта захоронения. Ожидается, что Франция построит специальное хранилище для этой категории РАО.

В настоящее время большая часть шведских CAO хранится в бассейнах выдержки ОЯТ на АЭС или в Центральном временном хранилище ОЯТ (Clab). Некоторые количества хранятся также в шахте в скальном грунте в бывшем научно-исследовательском центре Студсвик (Studsvik). Однако поскольку для CAO не требуется охлаждение, необходимо только экранирование, расположение таких отходов в хранилище Clab не является экономически эффективным решением. По этой причине долгоживущие отходы, образующихся в результате эксплуатации, модернизации и вывода из эксплуатации атомных электростанций, планируется временно хранить в сухих условиях в существующей пещере в скальном грунте (BFA) для РАО на АЭС компании OKG, единственной АЭС в Швеции, имеющей промежуточное хранилище РАО. Пещера в скальном грунте BFA уже используется для временного сухого хранения CAO от находящейся рядом АЭС. По шведским правилам необходимо провести повторное лицензирование пещеры BFA для того, чтобы разрешить ее использование в бу-



душем для промежуточного хранения компонентов активной зоны других АЭС. В настоящее время для транспортировки САО (которые в Швеции классифицируются как долгоживущие низко- и среднеактивные отходы) от АЭС до пещеры в скальном грунте ВФА разрабатывается новый контейнер для отходов АТВ-1Т, отвечающий требованиям МАГАТЭ к перевозке САО. По оценкам промежуточное хранение компонентов активной зоны в ВФА сможет начаться не раньше, чем в конце 2011 года, когда планируется поставка контейнеров АТВ-1Т. Вместе с тем, промежуточное хранение стержней управления и защиты и оборудования, содержащего делящиеся материалы, будет осуществляться в хранилище Clab.

Согласно существующим планам компания SKB будет разрабатывать отдельное геологическое хранилище для данной категории отходов, находящееся на промежуточной глубине, но ввод хранилища в эксплуатацию произойдет не раньше 2045 года.

Поскольку никакого решения не принято и процесс выбора площадки еще не начат, данный вопрос остается открытым. Общее количество САО, образованных в результате осуществления шведской ядерной программы, составляет примерно 12 000 м<sup>3</sup>.

#### **2.3.4. Отходы высокой активности**

Высокоактивные отходы требуют наиболее подготовленных решений по захоронению. До настоящего времени не существует действующих объектов захоронения ВАО. Однако в течение последних тридцати лет в ряде стран активно проводятся научно-исследовательские и демонстрационные программы по исследованию глубокого геологического захоронения и связанных с ним научных областей. В целом создание хранилища ВАО требует больших временных затрат и продолжается в течение нескольких десятилетий. За выбором площадки, проектированием и строительством последует период эксплуатации, а потом закрытие площадки. После закрытия последует период активного наблюдения за площадкой захоронения до того момента, когда его можно оставить без надзора.

Реализуя текущие планы по строительству геологических захоронений, различные страны выполняют, в общем, пошаговую процедуру, которая начинается с оценки необходимых технических и научных данных. Необходимо провести исследование потенциальных площадок размещения хранилища, оценить эти площадки и окончательно выбрать одну из них. Тем временем необходимо изучить концепции захоронения. Процесс оценки безопасности осуществляется итерационно с использованием улучшенных данных о площадке и полученных знаний о важных процессах. Кроме того, проводятся консультации с общественностью и должны быть приняты политические решения. Как уже отмечалось, очевидно, что взаимодействие с заинтересованными лицами должно быть четким и прозрачным, поскольку выбор площадки и проектирование хранилища ВАО не являются чисто научным вопросом.

ВАО включают материалы с высокой удельной активностью и обладают значительным тепловыделением, более 2 кВт/м<sup>3</sup> (согласно старому определению МАГАТЭ). Они содержат продукты деления и трансурановые элементы, образованные в активной зоне реактора, и являются наиболее опасным видом ядерных отходов. Однако, несмотря на то, что ОЯТ соответствует этим критериям, многие страны не считают ОЯТ отходами до тех пор, пока они не будут переработаны до такого, например, состояния, когда плутоний и уран извлечены из топлива. Это объясняется высоким содержанием



энергии в отработавшем ядерном топливе. Остальные отходы (ВАО), как правило, проходят процесс остекловывания перед окончательным захоронением. ВАО могут включать:

- отработавшее ядерное топливо;
- отходы от переработки отработанного ядерного топлива;
- долгоживущие отходы из различных источников со значительным тепловыделением.

ВАО требуют специальной защиты в процессе обращения с ними и транспортировки. Они также нуждаются в охлаждении вследствие тепловыделения. Общеизвестно, что захоронение в глубоких геологических хранилищах является единственным способом их изоляции от окружающей среды.

Планируемые хранилища ВАО основаны на надежной системе множественных инженерных барьеров, обладающими запасами безопасности. Чувствительность всей системы к характеристикам площадки (системе природных барьеров) будет сокращаться. Этот подход был использован во многих странах (например, в Швеции и Финляндии), поскольку процесс выбора площадки считался, несомненно, более сложным, чем технические вопросы самой концепции. В других странах площадка выбиралась до детальной разработки конструкции хранилища (например, в США). В Японии остался гибкий подход к конструкции хранилища, которая адаптируется к конкретным условиям площадки. Поэтому выбор площадки, исследования площадки и разработка концепции создания хранилища неразрывно связаны между собой и, как правило, выполняются одной организацией по обращению с отходами.

Функционирование хранилища с точки зрения защиты и безопасности — первоначальная способность хранилища изолировать отходы и изменение этой способности со временем — рассматривается в ходе оценки эксплуатационных качеств (performance assessment) хранилища. В ходе оценки безопасности (safety assessment) хранилища оцениваются результаты его функционирования с точки зрения безопасности, и эти результаты сравниваются с принятыми критериями безопасности. Для оценки эксплуатационных качеств хранилища или оценки безопасности необходимы установленная и разработанная система хранилища и возможность проведения оценки. Возможность оценки включает в себя:

- умение определять признаки, процессы или события, имеющие значение для защитных свойств хранилища;
- понимание процессов или событий и разработка моделей и баз данных для проведения количественных оценок или установления ограничений;
- контроль и управление качеством.

Элементы оценки эксплуатационных качеств или оценки безопасности и их логика широко обсуждаются на международном уровне. Оценка эксплуатационных качеств и оценка безопасности хранилища включает в себя:

- определение первоначального состояния хранилища;
- оценка показателей эксплуатации хранилища по истечению времени, а также событий, которые могут повлиять на эти показатели;
- оценка возможных выбросов радионуклидов со временем и оценка последствий, выраженных в дозе или риске или других показателях;
- идентификация и ранжирование неопределенностей, применяемых в оценках и количественном анализе;
- оценка показателей работы и оценка безопасности хранилища в соответствии с критериями приемлемости;

- оценка достоверности оценок, то есть чувствительности уровня безопасности к неопределенностям.

Методология оценки эксплуатационных качеств и оценки безопасности разрабатывается и уточняется с течением времени и используется для различных целей. В основном, она используется для углубленного понимания того, каким образом различные части в системе хранилища взаимодействуют друг с другом для обеспечения необходимой безопасности. Еще на стадии разработки очень важно определить, каким образом неопределенности в имеющихся данных могут повлиять на показатели эксплуатации. Эта процедура выявляет потребности в данных и помогает установить приоритеты исследований. Она также может определить необходимость в изменении конструкции для повышения возможностей подтверждения безопасности. На более поздних этапах разработки хранилища основной задачей оценок является контроль в целях обеспечения того, чтобы уровень безопасности хранилища соответствовал критериям приемлемости. Чувствительность показателей работы системы к изменениям может быть также использована для установления баланса в требованиях безопасности или для оптимизации эффективной работы системы.

Оценки производятся итерационно, с каждым разом становясь все более подробными и точными. Поскольку на ранних этапах разработки хранилища система еще не детализирована, ранние оценки безопасности нередко сводятся к оценке потенциала выбранной площадки и системы на предмет того, смогут ли они достичь приемлемого уровня безопасности. Оценки безопасности должны быть приняты за основу при принятии каждого важного решения.

Уровень безопасности или неопределенности может использоваться для выделения отличий между площадками или различными вариантами барьеров. Аналогично, на площадках с разным потенциалом безопасности можно достичь одинакового уровня безопасности благодаря возможности отрегулировать глубину хранилища и то, каким образом будет использоваться площадка. В таких случаях дифференциация должна основываться на стоимости или политических предпочтениях.

Оценки эксплуатационных качеств и безопасности могут быть также использованы для оценки гибкости концепции в части возможности размещения других радиоактивных материалов в будущем и, следовательно, играют определенную роль в процессе принятия решений и на возможных этапах подачи заявок/получения разрешений.

Способ, с помощью которого может быть достигнут и доказан приемлемый уровень безопасности, часто называется Стратегией безопасности. В связи с тем, что неопределенности, связанные с производством инженерно-технических барьеров, обычно меньше неопределенностей, связанных с принимающей горной породой, зачастую предполагается, что система инженерных барьеров должна нести большее бремя в отношении безопасности, чем геосфера.

Соответствующая научно-техническая поддержка всех заявлений и выбранных данных имеет большое значение для достоверности полученных результатов оценки.

Таким образом, важнейшим компонентом любой оценки безопасности является понимание системы захоронения и пути ее развития.

Система хранилища, в широком смысле понимаемая как размещенные ВАО или ОЯТ, окружающие его инженерно-технические барьеры, принимающая горная порода и биосфера в непосредственной близости от хранилища, будет развиваться с течением времени. Будущее состояние системы будет зависеть от:

- исходного состояния;

- процессов излучения, тепловых, гидравлических, механических, химических и биологических процессов, происходящих в системе хранилища с течением времени;
- внешних воздействий на систему.

Внутренние процессы — это, например, распад радиоактивных материалов, приводящий к высвобождению тепла и последующему нагреву отработавшего ядерного топлива, инженерно-технических барьеров и принимающих горных пород. Другими примерами являются потоки подземных вод и химические процессы, влияющие на инженерно-технические барьеры и состав подземных вод. Внешние воздействия включают в себя последствия будущих изменений климата и климатических процессов, таких как оледенение и поднятие суши. Другим примером является возрастание механической энергии вследствие движения тектонических плит. Кроме того, на хранилище могут влиять будущие действия человека.

Никогда нельзя полностью описать и понять первоначальное состояние, внутренние процессы и внешние воздействия и то, каким образом все они вместе определяют постепенную эволюцию хранилища. Существуют, таким образом, неопределенности различного типа, связанные со всеми аспектами постепенной эволюции хранилища, и, следовательно, с оценкой безопасности. Поэтому центральным вопросом любой методологии оценки безопасности должно быть управление всеми соответствующими типами неопределенностей. Это управление сводится к классификации и описанию неопределенностей, а также анализу количественных показателей эволюции хранилища и радиологических последствий, к которым эта эволюция приводит. Предполагается также сравнение результатов оценки с регулирующими требованиями, с соответствующей поправкой для неопределенностей, связанных с оценкой.

Основная функция безопасности шведской системы KBS-3 заключается в полной изоляции отработавшего ядерного топлива в медных/железных контейнерах в течение всего периода оценки. Если контейнеры повреждаются, вторичные функции безопасности должны гарантировать, что любые выходы радиоактивности из контейнеров будут задержаны и затем будут достаточно распределены, чтобы результирующая концентрация радионуклидов снизилась до уровней, которые не вызывают неприемлемые последствия. Поэтому две данные проблемы — изоляции и замедления — являются основными вопросами при оценке безопасности.

Научно-исследовательские работы позволяют понять процессы, влияющие на эксплуатационные свойства хранилища, и предоставляют возможность проанализировать их количественно или с помощью математических моделей, а также обеспечивают разработку данных, необходимых для определения начального состояния хранилища. Технические разработки необходимы для адаптации концепций создания инструментария или барьеров к соответствующим условиям площадки. Надежность различных подсистем подкрепляется конкретными демонстрационными проектами.

Мероприятия, связанные с проведением научных исследований, технических разработок и демонстрационных проектов, будут меняться по мере зрелости программы. Ранние работы сосредоточены на улучшении понимания важных процессов и способности проводить их количественный анализ. Далее в центре внимания оказывается совершенствование системы и ее адаптация к условиям площадок. Наконец, необходимо продемонстрировать ожидаемые показатели работы в условиях, максимально приближенным к реальным.

Программа научно-исследовательских и демонстрационных работ должна иметь или своевременно накапливать знания и навыки, необходимые для разработки бе-

зопасных и приемлемых хранилищ. Это означает использование междисциплинарного подхода, включающего компетентность как в технических, так и социологических вопросах. Необходимые знания и навыки можно получить в рамках общенациональной системы образования, но может понадобиться и дальнейшее совершенствование знаний и навыков по причине предъявления очень узких и специализированных требований. В Швеции, например, есть ряд кандидатских диссертаций, связанных с разработкой Шведской программы по захоронению отходов. Международное сотрудничество в данной области и непрерывный обзор оценок разных разработок улучшают знания и навыки в данной области как у операторов, так и у регулирующих органов.

Программа исследований зависит от отходов, имеющихся площадок и их характеристик, а также отдельных материалов и конструкций инженерных барьеров. Потребности в проведении научно-исследовательских работ определяются при выборе места размещения площадки и ее проектировании, в процессе оценки показателей работы и оценки безопасности, а также с учетом значимости имеющихся неопределенностей. Выбор различных геологических сред может повлиять на необходимость проведения исследований. Вместе с тем, научно-технические разработки обладают значительным сходством, а в целях обмена информацией и опытом реализуется многостороннее и международное сотрудничество как между исполнителями работ, так и между регулируемыми органами. Это позволяет избежать дублирования работы и эффективно использовать имеющиеся ресурсы.

Во многих областях навыки и умения можно получить в рамках обычной образовательной системы, в других областях есть базовые навыки и умения, которые нуждаются в дальнейшем развитии. Некоторые области знаний настолько узкие и специализированные, что программа проведения научно-исследовательских и демонстрационных работ должна развивать необходимые умения и навыки с самого начала.

Оценка безопасности глубокого геологического хранилища выполняется в соответствии с национальными законодательствами на очень длительный период времени. Следствием этого являются очень большие неопределенности при оценке безопасности.

Многие страны также создают подземные лаборатории для тестирования, проверки и демонстрации методов исследований, которые впоследствии будут использованы для детального изучения потенциальных площадок размещения глубокого хранилища, а также изучения и проверки функционирования различных компонентов в окончательной системе хранилища. Они также могут использоваться для разработки и тестирования технологий захоронения. Такие подземные лаборатории широко сотрудничают на международном уровне по различным аспектам научно-исследовательских и демонстрационных работ.

Кроме органов, уполномоченных осуществлять контроль и лицензирование хранилища, существует целый ряд заинтересованных лиц, интересы которых могут быть затронуты или на которых может повлиять процесс разработки хранилища. Таким образом, должны быть подготовлены процедуры взаимодействия с общественностью и ее участия в процессе разработки хранилища в дополнение к официальным органам регулирования.

Вопросы транспортирования ОЯТ и ВАО в целом не вызывают больших технических трудностей. Они перевозятся в хорошо защищенных упаковках (контейнерах) в промежуточные хранилища или на объекты переработки. Контейнеры массово изготавливаются из стали и весят обычно около 100 тонн. В Западной Европе основные



перевозки осуществляются по железной дороге, а в Швеции и с Дальнего Востока до европейских перерабатывающих объектов — морским путем. Для морских перевозок используются специальные суда, разработанные и эксплуатирующиеся в соответствии с Кодексом ОЯТ Международной морской организации (ИМО). Остеклованные ВАО от переработки ОЯТ временно хранятся на заводе по переработке для того, чтобы уменьшить тепловыделение от продуктов распада перед отправкой отходов в страну происхождения.

Завершая рассмотрение передовых практик обращения в РАО, приведем результаты обзора текущей ситуации в научно-исследовательских программах строительства глубоких геологических хранилищ ВАО в работе [20] были выбраны Швеция, Финляндия, Канада, Япония и Швейцария. Все эти страны имеют большой опыт планирования глубоких геологических хранилищ. Организации в этих странах также имеют давние традиции хорошего и взаимовыгодного технического сотрудничества и обмена, а также принимают активное участие в международных инициативах и организациях. В табл. 2.3.6 дан обзор некоторых основных особенностей соответствующих программ.

### ***2.3.5. Классификация РАО для целей захоронения***

После рассмотрения системы требований и руководств по обращению с РАО и лучших мировых практик в этой области целесообразно еще раз вернуться к вопросам классификации РАО для целей захоронения, ранее не применявшегося в нашей национальной практике. Относительно новое общее руководство по безопасности GSG-1 «Классификация радиоактивных отходов» [15], представляет пример того, как достижения передовой практики находят свое воплощение в дальнейшей детализации требований безопасности к захоронению и обеспечении их гибкости. Руководство формализует теоретические и практические наработки опыта создания хранилищ РАО различного типа, которые были описаны выше. В нем приводится логическая схема, иллюстрирующая процесс принятия решений по классификации отходов и последующему обращению с ними. Для удобства восприятия она разбита на 2 части (рис. 2.3.6 и 2.3.7) — для отходов, содержащих техногенные и природные радионуклиды.

Классификация базируется на 2-х принципиальных характеристиках отходов — активности и периоде потенциальной опасности. Фактически, вариант обращения с РАО определяется как функция этих характеристик и служит основанием для разбиения на классы. Чем выше активность, тем больше необходимость в барьерах безопасности для изоляции от биосферы. Однако в случае короткого периода полураспада необходимость в захоронении отпадает — возможна выдержка до распада. Чем дольше период потенциальной опасности отходов, тем на более длительный срок требуется обеспечить надежность и сохранность барьеров безопасности. Но для отходов очень низкой активности возможно захоронение в приповерхностном пункте захоронения. И только в том случае, когда обе составляющие — и активность и период полураспада — велики, требуется самое надежное захоронение на большой глубине с пассивными системами обеспечения безопасности.

Таким образом, полностью решая в каждом случае задачи обеспечения долгосрочной безопасности, руководство дает гибкость в выборе вариантов. Концептуальный подход к РАО, выраженный в этом документе, — это классификация в соответствии с тем, нужны ли барьеры безопасности, а если нужны, то какими они должны



Таблица 2.3.6

Обзор обращения с ВАО в некоторых странах [20]

	Швеция	Финляндия	Канада	Япония	Швейцария
1	2	3	4	5	6
Ответственные организации-исполнители	SKB	Posiva Oy	Организация по обращению с радиоактивными отходами (Nuclear Waste Management Organization — NWMO)	NUMO	Nagra
Долговременное решение (основной вариант)	Прямое захоронение ОЯТ	Прямое захоронение ОЯТ	Прямое захоронение ОЯТ	Захоронение высокоактивных отходов от переработки ОЯТ	Прямое захоронение ОЯТ или высокоактивных отходов от переработки ОЯТ
Метод (основной вариант)	Метод KBS-3 с медно-стальными контейнерами, ус-танавливаемыми вертикально. Бу-феризация и за-сыпка	Метод KBS-3 с медно-стальными контейнерами, ус-танавливаемыми вертикально. Бу-феризация и за-сыпка	Разные варианты контейнеров (титановые, медные). Подземные каме-ры, которые запол-нены буферным ве-ществом и засып-кой (ранее разрабо-танные компанией AECL)	Стальные контейнеры/бен-тонитовая защитная зона в длинных горных выработках (разработанные ранее JAEA 4), но другие варианты в настоящее время рассматриваются организацией NUMO	Стальные контей-неры/бентонито-вая защитная зона в длинных горных выработках
Геология (основ-ной существую-щий вариант)	Кристаллическая структура	Кристаллическая структура	Кристаллическая структура	Кристаллическая структура или осадочные отложения	Опалиновая глина
Выбор площадки	2009 год (выбрана площадка Östhammar)	2001 год (площадка в Олкилуото (Olkiluoto) — площад-ка окончательного за-хоронения, если не будет преодолен-ных препятствий)	Процесс выбора площадки стартует и будет окончен к 2025 году	Идет выбор площадки, должен быть закончен к 2023 году	Выбор площадки начал в 2007 году

Таблица 2.3.6. Продолжение

1	2	3	4	5	6
Начало эксплуатации хранилища	Примерно в 2020 году	Примерно в 2020 году	Примерно в 2040 году	Примерно в 2033 году	Примерно в 2040—2050 годах
Исследовательские объекты	Общая Лаборатория Äspö в твердых горных породах (Hard Rock Laboratory), лаборатория по изучению свойств контейнеров (Canister laboratory) и лаборатория по изучению бентонита (Bentonite Laboratory)	Лаборатория подземных исследований ONKALO URL находится в стадии сооружения на планируемой площадке захоронения	Компания AECL* построила и управляет подземной исследовательской лабораторией на площадке Пинава (Pinawa), Манитоба (Manitoba) в течение около 20 лет, но в настоящее время она находится в стадии закрытия	В настоящее время Агентство по атомной энергии Японии строит подземные исследовательские лаборатории: в Мизунами (в границе) и Хоронобэ (в осадочных отложениях). Агентство также эксплуатирует Научно-исследовательский центр в Токио, имеющий следующие лаборатории: ENTRY — лаборатория инженерных исследований и испытаний; QUALITY — экспериментальная лаборатория количественных оценок миграции радиоизотопов; EDAS — исследовательская система сбор данных (система исследования срока эксплуатации и целостности инженерных барьеров); COUPLE — система исследования взаимосвязанных термо-гидро-механических процессов; NETBLOCK — система исследования подземных вод в пористой горной породе; CRIEPI** — управляет несколькими научно-исследовательскими лабораториями по обращению с ядерными отходами	Объект испытаний Гримзель (Grimmel) в гранитной среде работает с 1984 года и лаборатория Мон Терри (Mont Terri) в опалиновой глине работает с 1996 года

\* Компания Atomic Energy Canada Limited осуществляла управление национальной программой обращения с ядерными отходами в течение нескольких десятилетий до тех пор, пока ответственность за эти работы не была передана Организации обращения с ядерными отходами (NWMO).  
 \*\* Центральный исследовательский институт электроэнергетики.

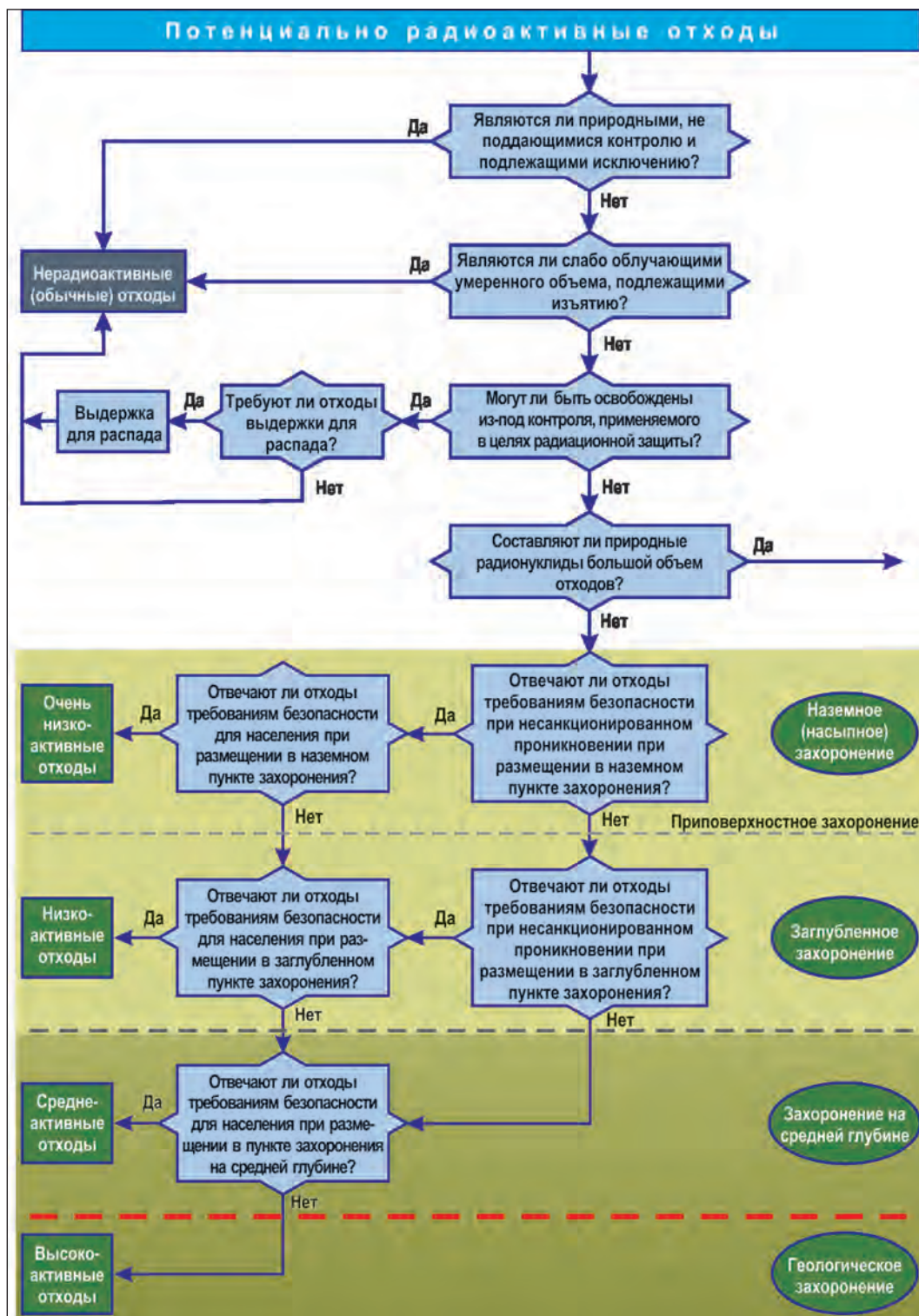


Рис. 2.3.6. Иллюстрация использования системы классификации РАО (без природных радионуклидов) [15]





Рис. 2.3.7. Иллюстрация использования системы классификации РАО (природные радионуклиды) [15]

быть. Руководство GSG-1 предлагает использовать шесть основных вариантов действий с разделением на отходы, содержащие природные и техногенные радионуклиды. Для потенциально радиоактивных отходов предлагается применить концепцию исключения, а также освобождения из-под регулирующего контроля. В этом случае отходы переходят в категорию общепромышленных и не рассматриваются как радиоактивные. Далее предлагается определить, требуется ли для них выдержка для распада, если да, то после определенного срока хранения отходы также переходят в категорию общепромышленных. Все остальные РАО разделяются на 2 потока – РАО с техногенными радионуклидами и РАО с большим содержанием природных радионуклидов – и подлежат захоронению в пунктах захоронения соответствующего типа.

Дальнейшие варианты действий в отношении РАО с техногенными радионуклидами могут быть представлены следующим образом:

- насыпное захоронение — очень низкоактивные отходы;
- приповерхностное захоронение — низкоактивные отходы;
- захоронение на глубине нескольких десятков или сотен метров — среднеактивные отходы;
- захоронение в глубоких геологических формациях — высокоактивные отходы.

Аналогичным образом рассматриваются варианты действий и классы РАО с природными радионуклидами, за исключением того, что захоронение в глубоких геологических формациях для таких РАО никогда не требуется.

Таким образом, в руководстве подтверждается, что захоронение РАО в настоящее время рассматривается в качестве основного способа их безопасной окончательной изоляции. Варианты захоронения не рассматриваются только для очень короткоживущих отходов, для которых достаточна выдержка в хранилище, и для отходов, которые могут быть изъяты или высвобождены из-под контроля. Именно способ захоронения с точки зрения обеспечения долгосрочной безопасности диктует отнесение к тому или иному классу отходов. На практике это выражается в том, что создаются различные типы объектов захоронения, а в рамках одного объекта могут предусматриваться зоны для отходов различной активности с соответствующей дифференциацией барьеров безопасности.

## **Заключение**

Краткий обзор, выполненный в рамках данной главы, позволяет сделать ряд важных выводов:

1. В качестве РАО на уровне МАГАТЭ рассматриваются исключительно или преимущественно отходы, содержащие техногенные радионуклиды, образующиеся при эксплуатации и выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии, и отходы, содержащие природные радионуклиды, образующиеся при добыче и переработке урановых и ториевых руд.

2. На международном уровне сформирована система научных представлений, технических подходов и требований безопасности в отношении безопасного обращения с РАО, которая реализована в форме стандартов МАГАТЭ. Эта система документов разработана на основе обобщения опыта лучших практик обращения с твердыми или отвержденными отходами. Она включает систему классификации РАО, требования к различным стадиям обращения с ними, требования к установкам по обращению с РАО, оценке их безопасности и др. Требования по безопасности обращения с РАО дифференцируются в зависимости от происхождения РАО, уровней опасности и, в ряде случаев, количественных характеристик.

3. Объединенной конвенцией о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами предусмотрены процедуры оценки национальной политики, основных документов органов регулирования безопасности и национальной практики на предмет соответствия стандартам МАГАТЭ.

4. Захоронение РАО рассматривается в качестве основного способа их безопасной окончательной изоляции. Классификация РАО для целей захоронения предусматривает разделение потоков РАО на отходы с большим содержанием природных радионуклидов и РАО техногенного происхождения, а также проводит принципиальную дифференциацию по способам захоронения.



5. Практика захоронения применяется в отношении всех отходов, за исключением отходов высокой активности. В отношении высокоактивных отходов осуществляются обширные научно-исследовательские программы по строительству глубоких геологических пунктов захоронения.

6. Эти работы базируются на наиболее развитых и детализированных процедурах оценки безопасности, сконцентрированных в документе [17].

7. При оценке безопасности новых технологий, ранее не применявшихся в круге стран, имеющих отнесенный к лучшим практикам опыт, неизбежно применение требований, предусмотренных этим документом [17].

## Литература

1. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. — Под общ. ред. Е.В. Евстратова, А.М. Агапова, Н.П. Лаврова, Л.А. Большова, И.И. Линге. — 2012. — 356 с. — Т.1.
2. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 // Annals of the ICRP V 37, № 2–4, Elsevier, 2007.
3. НКДАР ООН 2008 (UNSCEAR 2008) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation (2008 Report to the General Assembly, v. II with Annexes); Annexes D and E. New York: United Nations (2010).
4. Размещение установок захоронения в геологических структурах (Siting of Geological Disposal Facilities) Series No. 111-G-4.1, 1994.
5. Оценка безопасности приповерхностных захоронений радиоактивных отходов (Safety Assessment for Near Surface Disposal of Radioactive Waste) Safety Guide Series No. WS-G-1.1, 1999.
6. Обращение с радиоактивными отходами, образующимися при добыче и переработке руд (Management of Radioactive Waste from the Mining and Milling of Ores) Safety Guide Series No. WS-G-1.2, 2002.
7. Обращение с радиоактивными отходами низкого и среднего уровня активности перед их захоронением (Predisposal Management of Low and Intermediate Level Radioactive Waste) Safety Guide Series No. WS-G-2.5, 2003.
8. Обращение с радиоактивными отходами высокого уровня активности перед их захоронением (Predisposal Management of High Level Radioactive Waste) Safety Guide Series No. WS-G-2.6, 2003.
9. Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля (Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance) Guide Series No. RS-G-1.7, 2004.
10. Хранение радиоактивных отходов (Storage of Radioactive Waste) Safety Guide Series No. WS-G-6.1, 2006.
11. Система административного управления для захоронения радиоактивных отходов (The Management System for the Disposal of Radioactive Waste) Safety Guide Series No. GS-G-3.4, 2008.
12. Радиационная защита и обращение с радиоактивными отходами в проекте и при эксплуатации исследовательских реакторов (Radiation Protection and Radioactive Waste Management in the Design and Operation of Research Reactors) Safety Guide Series No. NS-G-4.6, 2009.
13. Обращение с радиоактивными отходами перед захоронением (Predisposal Management of Radioactive) General Safety Requirements Part 5 Series No. GSR Part 5, 2009.
14. Специальные требования безопасности к захоронению радиоактивных отходов (Disposal of Radioactive Waste Specific Safety Requirements) Series No. SSR-5, 2011.
15. Классификация радиоактивных отходов (Classification of Radioactive Waste) General Safety Guide Series No. GSG-1, 2009.
16. Скважинные установки для захоронения радиоактивных отходов (Borehole Disposal Facilities for Radioactive Waste) Safety Guide Series No. SSG-1, 2009.
17. Установки для захоронения радиоактивных отходов в геологических структурах (Geological Disposal Facilities for Radioactive) Series No. SSG-14, 2011.
18. Руководящие принципы в отношении формы и структуры национальных докладов (INFCIRC/604/rev.1).
19. Рыбальченко И.В. Обращение с отходами очень низкой активности. Шведский опыт. Санкт-Петербург, 2008.
20. Международный опыт по захоронению радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива. Обзор литературы. SKB International Consultant AB, июнь 2009.
21. ANDRA
22. Обращение с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом в Европейском союзе — Radioactive waste and spent fuel management in the European Union, SEC (2008) 2416.
23. Riggare and Johansson. 2001.

## ГЛАВА 3

### Выработка стратегии решения накопленных проблем в области обращения с РАО

В разделе 1.3 и в первом томе [1] уже отмечалось, что период рубежа веков и первого пятилетия XXI века был характерен интенсивным обсуждением путей решения накопленных проблем и поиска выхода из весьма тяжелой ситуации, в которой оказалась отрасль. Имеет смысл остановиться на этом несколько подробнее, поскольку многие из сформулированных тогда идей уже реализованы или обрели конкретный облик или могут обрести более реальные очертания в ближайшие десятилетия.

Продвижение в выработке стратегии целесообразно рассмотреть в хронологическом порядке.

Период 90-х годов прошлого века можно назвать одним из самых трудных в истории атомной отрасли. Предприятия отрасли столкнулись с многократным снижением государственного оборонного заказа по основным видам продукции оборонного назначения. Даже в тех случаях, когда продукция предприятий была востребована, ее реализация сопровождалась длинными цепочками взаимозачетов и бартеров. В этих условиях ставить задачу решения накопленных проблем в области обращения с РАО было практически невозможно. Тем не менее, такие попытки предпринимались. Минатомом России была разработана федеральная целевая программа «Обращение с радиоактивными отходами и отработавшими ядерными материалами, их утилизация и захоронение на 1996–2005 гг.». Постановлением Правительства Российской Федерации № 1030 от 23.10.1995 г. эта программа была утверждена, но в программных параметрах не финансировалась.

В этот же период предпринимались меры по изменению правовых режимов обращения с РАО. Важно, что они инициировались и реализовывались без значимого участия отрасли. В 1995 году был разработан проект федерального закона «О государственной политике в области обращения с радиоактивными отходами», который был принят Государственной Думой. Однако Совет Федерации Федерального Собрания своим постановлением отклонил указанный законопроект. Была создана согласительная комиссия, которой были внесены существенные поправки, в том числе в его наименование. Он стал называться — «Об обращении с радиоактивными отходами». Данная редакция была принята двумя палатами Федерального Собрания и поступила на подпись Президенту России. Однако Президент России отклонил законопроект и отправил его на доработку. Основной причиной отклонения явилось вторжение в исключительные полномочия Президента, а именно в полномочия по определению структуры органов государственной исполнительной власти. В итоге в 2001 году указанный законопроект был снят с дальнейшего рассмотрения Государственной Думой Федерального Собрания. Критический анализ этого законопроекта не является предметом данной монографии. Отметим только, что его первое наименование достаточно полно отражает содержание законопроекта.

В 1998 году стартовали работы по комплексной утилизации атомных подводных лодок и реабилитации береговых технических баз, выведенных из состава Военно-

Морского флота. Работы были поручены Минатому России, и было начато их финансирование из средств федерального бюджета. По остальным же составляющим наследия, в том числе по РАО, финансирование практически отсутствовало.

В этой ситуации в 1999 году была сформулирована концепция, получившая название «Инициатива Минатома России». Суть ее заключалась в приеме облученного ядерного топлива на переработку с предшествующим технологическим хранением в течение нескольких десятилетий или просто хранением с разработкой новых технологических решений, которые могут быть промышленно освоены за период хранения ОЯТ. Следствием данной инициативы явились законопроекты, которые почти два года обсуждались в Государственной Думе. Они предполагали разрешение ввоза облученного ядерного топлива на переработку и/или технологическое хранение и, что самое главное, созданием некоторых компенсирующих механизмов, которые позволили бы сформировать мощный источник финансирования работ по наследию, включая накопленные РАО. В силу многих причин и, самое главное, сложной правовой конструкции, сформированной в итоге в 2001 году [2], этот мощный источник не сформировался. Тем не менее, определенные работы, в том числе по реабилитации территорий и по обращению с РАО, из него финансировались и будут рассмотрены в следующей главе, посвященной практической деятельности.

В 2000 году была разработана и утверждена Концепция Минатома России по обращению с РАО (приказ по Минатому России № 475 от 03.08.2000 г.), которая носила в определенной мере декларативный характер.

В этот же период была впервые озвучена инициатива Президента России по ядерным технологиям. 6 сентября 2000 года в Нью-Йорке открылась 55-я сессия Генеральной Ассамблеи ООН. После ее открытия состоялся Саммит тысячелетия, в котором впервые встретились 185 глав государств и правительств, т. е. руководители подавляющего большинства стран мирового сообщества. Президент Российской Федерации В.В. Путин выступил на Саммите тысячелетия с речью, в которой заявил о намерении России развивать атомную энергетику, основанную на технологии реакторов на быстрых нейтронах. На последовавшей пресс-конференции Президент конкретизировал свое предложение: «Другое наше предложение — разработать под эгидой МАГАТЭ международный проект, призванный исключить из пользования в мирной ядерной энергетике обогащенного урана и чистого плутония. Реализация этой инициативы, по нашему убеждению, станет не только надежным вкладом в дело ядерного нераспространения, но и продолжит путь к освобождению человечества от крайне серьезной проблемы радиоактивных отходов. Перед этой проблемой, вы знаете, стоят очень многие страны мира».

Одной из составляющих этой инициативы стало формулирование целевой установки в форме *«последовательного приближения к радиационно-эквивалентному (по отношению к природному сырью) захоронению РАО»* [3, 4]. Иногда его называют принципом радиационно-эквивалентного захоронения. Эти идеи продолжают рассматриваться и развиваться, в том числе в рамках работ по новой технологической платформе, и также будут рассмотрены в главе, посвященной развитию методов и расчетных кодов по анализу безопасности.

Значимая интенсификация собственных работ в области комплексной утилизации атомных подводных лодок создала предпосылки для организации широкого международного сотрудничества в данной области, одобренного на высшем уровне и получившего название Глобальное партнерство [5]. В рамках этого партнерства была создана специальная структура МАГАТЭ — так называемая контактная экспертная

группа, — которая на регулярной основе рассматривала ход работ в непосредственной сфере деятельности Глобального партнерства и смежные вопросы, включая развитие системы обращения с радиоактивными отходами в Российской Федерации. В рамках международного сотрудничества впервые была сформулирована задача формирования долгосрочного плана работ по окончательному решению проблем в этой области в отношении Северо-Западного региона России, впоследствии получившего название Стратегического мастер-плана. За прошедший десятилетний период Глобальное сотрудничество успешно продолжалось с примерно равными объемами финансирования со стороны России и зарубежных партнеров.

В настоящее время финансирование осуществляется в рамках подпрограммы «Промышленная утилизация атомных подводных лодок, надводных кораблей с ядерной энергетической установкой, судов атомного технологического обслуживания и реабилитация радиационно опасных объектов на 2011–2015 годы и на период до 2020 года» федеральной целевой программы по утилизации вооружения и военной техники ядерного комплекса. В конце 2012 года в Москве состоялась международная конференция по Глобальному партнерству, которая дала рекомендации на будущее. Промежуточные итоги реализации работ по данному направлению будут кратко изложены в следующей главе.

В 2003 году впервые был разработан целостный документ по развитию системы обращения с РАО в рамках одного, но и наиболее проблемного предприятия, — Комплексный план решения экологических проблем ФГУП «ПО «Маяк» [1]. Его основной целью являлась коренная трансформация системы обращения с РАО с выходом на прекращение сбросов радиоактивных отходов в промышленные водоемы и предотвращение и минимизация последствий чрезвычайных ситуаций с накопленными РАО. Во многом с учетом этого опыта уже в последние годы реализуется работа по выработке подобных локальных стратегий по обращению с РАО на всех предприятиях отрасли (разд. 3.4).

В конце 2004 года в Минатоме России готовился всеобъемлющий доклад по вопросу обращения с радиоактивными отходами в Российской Федерации. Планировалось представить его в Правительство Российской Федерации. Он предусматривал рассмотрение следующих вопросов: регулирование на государственном и ведомственном уровне, реализация ФЦП «Обращение с радиоактивными отходами и отработавшими ядерными материалами, их утилизация и захоронение на 1996–2005 гг.», концептуальные подходы, описание практической деятельности и статистика образования РАО. Проект документа свидетельствовал о полном понимании на уровне отрасли масштаба проблемы, необходимости перемен и начала практической деятельности. А она практически не велась — объем бюджетных средств на финансирование ФЦП в 1996–2000 гг. составил 315,4 млн руб., что было менее 7% от запланированного. В силу ряда обстоятельств работа по подготовке доклада была прекращена. Главным из этих обстоятельств явилась трансформация Минатома России в Федеральное агентство с ограниченным набором нормотворческих функций. Напомним, что в период до конца мая 2004 года планировалось, что вопросы выработки политики и координации деятельности агентства будут сосредоточены в Минэнерго России.

В конце 2005 года, после вступления в силу соответствующего Федерального закона № 139-ФЗ «О ратификации Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами», стали обдумываться вопросы полноценной реализации ее положений. Заме-



тим, что относительно быстрая после семилетней паузы (конвенция была подписана от имени Российской Федерации в Вене 27 января 1999 года) ратификация явилась первым свидетельством изменения государственной политики России в области атомной энергетики.

В этот же период началась разработка проекта полноценной программы по наследию. Вопросы формирования ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» детально рассмотрены в [1].

Примерно в этот же период уже прорабатывались вопросы модернизации нормативно-правовой базы в области обращения с РАО. В том числе был разработан проект доктрины обращения с радиоактивными отходами в Российской Федерации. В связи с ролью проекта этого документа, в выработке подходов к формированию новой национальной политики в области обращения с РАО, доктрина будет рассмотрена далее (раздел 3.2) более детально, несмотря на то, что документ прекратил свое существование на уровне проекта. В целом этот период стал этапом выработки основных направлений деятельности в области обращения с РАО. Ими стали:

- реализация организационных мероприятий по снижению образования, развитию технологий переработки и увеличению доли кондиционированных отходов;
- планирование и реализация мероприятий по оценке рисков, связанных с радиоактивными отходами, и обеспечению безопасности накопленных радиоактивных отходов;
- совершенствование правовых условий обращения с радиоактивными отходами.

Проработка законопроекта по обращению с РАО на уровне отрасли велась в течение 2007–2008 годов. В 2008 году он начал согласовываться с заинтересованными ведомствами. В итоге в 2011 году эта работа была завершена принятием Федерального закона №190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». С 2008 года основной замысел по будущему облику Единой государственной системы обращения с РАО (ЕГС РАО) был представлен в документе под названием «Дорожная карта создания ЕГС РАО». Позже он трансформировался в программу ускоренного создания ЕГС РАО, которая детально рассмотрена в данном разделе. Вопросы формирования содержания закона также рассмотрены в данном разделе, а направления его реализации рассмотрены в отдельном разделе настоящей работы.

В период 2008–2009 гг. уже в Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» была сформирована Дирекция по ядерной и радиационной безопасности и специальные органы управления по завершающим стадиям жизненного цикла. В 2010 году Дирекцией ЯРБ были начаты проработки долгосрочной стратегии [6], которая предусматривала выход на глобальные рынки в области завершающих стадий жизненного цикла, в том числе в области обращения с ОЯТ и РАО.

Завершая этот краткий исторический экскурс и переходя к наиболее значимым изменениям, отметим несколько обстоятельств:

- работа над осмыслением направлений развития системы обращения с РАО не прекращалась все эти годы;
- ни в одном из случаев не подвергался сомнению тезис о ее необходимости;
- теоретические проработки сопровождались повседневной деятельностью организаций отрасли по обеспечению безопасности накопленных РАО, которая позволила предотвратить сверхнормативное радиационное воздействие на население.



### 3.1. Ратификация Объединенной конвенции

В 2005 году вступил в силу Федеральный закон №139-ФЗ «О ратификации Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами». Важно отметить, что Объединенная конвенция — это не декларация, а более сложная конструкция международного права. Она включает две важнейшие составляющие:

- комплекс требований, принципов и условий по безопасности;
- описание процедур и порядка определения соответствия национальной политики и практики стран-участниц этим принципам и требованиям.

Сфера действия конвенции несколько шире, чем следует из ее названия. Она включает не только обращение с ОЯТ и РАО, но сбросы и выбросы радионуклидов при эксплуатации ядерных установок (в терминологии конвенции — сбросы), проектирование, ввод в эксплуатацию, вывод из эксплуатации ядерных установок (в терминологии конвенции — ядерные установки — это и ядерные установки в значении, предусмотренном российским законом «Об использовании атомной энергии», и радиационные источники и пункты хранения), а также многие другие вопросы радиационной защиты. Определение обращения с РАО, приведенное в конвенции для целей конвенции, имеет одну особенность. В нем из видов деятельности исключена деятельность по перевозкам за пределы площадки:

«обращение с РАО — означает все виды деятельности, включая деятельность, связанную со снятием с эксплуатации, которые имеют отношение к физическому манипулированию, предварительной обработке, обработке, кондиционированию, хранению или захоронению радиоактивных отходов, за исключением перевозки за пределами площадки. Оно может также быть связано со сбросами».

Эта особенность связана с тем, что к моменту принятия конвенции, требования безопасности перевозок радиоактивных материалов уже были детально определены в документах МАГАТЭ.

Ключевыми элементами оценки соответствия национальной политики и практики стран-участниц принципам и требованиям конвенции являются регулярные Совещания договаривающихся сторон, на которых рассматриваются национальные доклады всех стран участниц конвенции. К настоящему времени прошло четыре таких Совещания (2003, 2006, 2009, 2012 гг.), к трем из которых представлялись национальные доклады Российской Федерации.

Одна из статей конвенции определяет перечень вопросов подлежащих освещению в национальном докладе и рассмотрению на совещании. Это:

- политика и практика в области обращения с отработавшим топливом;
- политика и практика в области обращения с радиоактивными отходами;
- критерии, используемые для определения и классификации радиоактивных отходов;
- перечень установок для обращения с отработавшим топливом, их местонахождение, основное назначение и важнейшие характеристики;
- инвентарный список отработавшего топлива, которое содержится в хранилище и которое было захоронено;
- перечень установок для обращения с радиоактивными отходами, их местонахождение, основное назначение и важнейшие характеристики;
- инвентарный список радиоактивных отходов, которые:

- a) содержатся в хранилище на установках для обращения с радиоактивными отходами и установках ядерного топливного цикла;
- b) были захоронены;
- c) являются результатом практической деятельности в прошлом.

Этот инвентарный список содержит описание материала и другую соответствующую информацию, такую как информация об объеме или массе, активности и конкретных радионуклидах, перечень ядерных установок, находящихся в процессе снятия с эксплуатации, и состояние деятельности по снятию с эксплуатации на указанных установках.

Подготовка национальных докладов и их рассмотрение на совещаниях договаривающихся сторон осуществляются в соответствии с «Руководящими принципами, касающимися процесса рассмотрения», а также Правилами процедуры и финансовыми правилами [6, 7] Объединенной конвенции.

Процедура рассмотрения национальных докладов включает в себя два этапа.

Первый — «заочное» рассмотрение прогресса в выполнении обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции. Оно начинается за шесть месяцев до совещания договаривающихся сторон и предполагает размещение национальных докладов на доступном только для стран-участниц Объединенной конвенции разделе сайта МАГАТЭ.

Второй этап — прямое («очное») рассмотрение докладов. Регламент проведения совещания предусматривает пленарные заседания и заседания групп стран. Прямое обсуждение выполнения обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции, проходит в рамках заседаний шести групп стран. В каждую из групп включены как государства с масштабной атомной энергетикой и деятельностью по использованию атомной энергии, так и страны, располагающие относительно небольшим количеством радиоактивных материалов.

Ратификация Объединенной конвенции произошла более чем за полгода до начала соответствующего Совещания договаривающихся сторон, в связи с чем возникла необходимость срочной подготовки Первого национального доклада. Доклад был подготовлен Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом» и Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору при участии Федерального медико-биологического агентства. Непосредственную подготовку доклада осуществляли специалисты Института проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН) и Научно-технического центра по ядерной и радиационной безопасности (НТЦ ЯРБ).

На втором (май 2006 г.) совещании договаривающихся сторон по рассмотрению национальных докладов были отмечены положительные аспекты существующей в Российской Федерации практики в области обращения с ОЯТ и РАО, в том числе:

- общее соответствие существующей нормативно-правовой базы в области обращения с ОЯТ и РАО, а также системы государственного регулирования в области использования атомной энергии международным требованиям;
- контроль безопасности обращения с ОЯТ и РАО и безопасности объектов переработки и хранения ОЯТ и РАО существующей системой регулирования безопасности в области использования атомной энергии, включающей осуществление деятельности в соответствии с условиями действия лицензии, получаемой на основе проведения систематических и периодических оценок безопасности деятельности эксплуатирующих организаций и проведение инспекций регулирующим и органами;

- активная работа по подготовке проекта государственного закона по обращению с РАО, который должен установить правовые и экономические механизмы, обеспечивающие деятельность по обращению с «историческими» и производимыми РАО;
- функционирование Единой государственной базы данных по закрытым источникам;
- международное сотрудничество в области хранения и переработки ОЯТ зарубежных реакторов и топлива российского производства.

Отметим, что Первый национальный доклад Российской Федерации не прошел детального анализа в рабочих группах. Это было связано с тем, что процесс рассмотрения в группах стран стартовал до ратификации Объединенной конвенции. Тем не менее, совещанием было отмечено, что специфическим фактором, определяющим политику и практику обращения с ОЯТ и РАО в Российской Федерации, является существование значительного количества ОЯТ и РАО, обусловленных предыдущей деятельностью по выполнению национальных оборонных программ, а также существенными финансовыми ограничениями последних полутора десятилетий, вызванными распадом СССР. Отмечено также, что из-за отсутствия государственной системы по обращению с РАО и национальной организации по обращению с РАО в России ответственность за обращение с РАО несут несколько министерств и ведомств.

По результатам обсуждения Первого национального доклада Российской Федерации выявлена необходимость проведения мероприятий, повышающих безопасность при обращении с ОЯТ и РАО, в том числе:

- проведение комплексной инвентаризации РАО в национальном масштабе;
- принятие стратегии долгосрочного обращения с РАО и ОЯТ;
- разработка решений по установлению статуса существующих хранилищ РАО и реализация соответствующих мероприятий по закрытию, ликвидации или реконструкции на основе проведения оценки безопасности существующих хранилищ РАО и ОЯТ;
- развитие мощностей по переработке и кондиционированию РАО;
- финансовое обеспечение завершения вывода из эксплуатации ряда реакторов и обеспечение при этом безопасного обращения с негерметичным ОЯТ;
- вывод из эксплуатации радиоизотопных термоэлектрических генераторов (РИТЭГов).

Также была отмечена необходимость внесения в доклад дополнительной информации, в частности, включения вопросов, касающихся РАО от добычи и переработки радиоактивных руд, а также информации по сбросам/выбросам.

Второй национальный доклад Российской Федерации был представлен Минприроды России (в тот период Минприроды России являлось органом регулирования безопасности при использовании атомной энергии, а Ростехнадзор России подчинялся ей как надзорная служба) и Госкорпорацией «Росатом». В рамках подготовки к совещанию в рабочей группе по содержанию национального доклада было задано около 150 вопросов. На третьем совещании договаривающихся сторон по рассмотрению национальных докладов (2009 г.) были отмечены положительные аспекты существующей в Российской Федерации практики в области обращения с ОЯТ и РАО, в числе которых:

- начало реализации федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (далее — ФЦП ЯРБ), основной целью которой является комплексное решение проблем

ядерной и радиационной безопасности, связанных с обращением с ОЯТ и РАО, выводом из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов, совершенствованием систем, необходимых для обеспечения и контроля ядерной и радиационной безопасности;

- подготовка проекта Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами», который должен установить правовые и экономические механизмы, обеспечивающие деятельность по обращению с «историческими» и образующимися РАО;
- систематический и периодический анализ безопасности установок по обращению с ОЯТ и РАО;
- международное сотрудничество в области возврата ОЯТ зарубежных исследовательских реакторов российского производства.

Несмотря на выраженный прогресс, совещание по-прежнему констатировало существование специфических факторов, характерных исключительно для Российской Федерации (рис. 3.1.1). Среди этих факторов существование значительного количества ОЯТ и РАО, обусловленного предыдущей деятельностью, наличие «хранилищ» жидких и твердых НАО-САО на некоторых промышленных предприятиях, не отвечающих современным требованиям обеспечения безопасности, контролируемая закачка жидких НАО-САО в глубокие геологические формации.

На совещании было особо выделено, что Российской Федерации предстоит решить сложные задачи по решению проблем ядерного наследия (консервация промышленного водоема Карачай, приведение в безопасное состояние Теченского каскада водоемов), развитию инфраструктуры (создание системы межрегиональных пунктов захоронения РАО), совершенствованию регулирующих основ (модификация классификации РАО) и ряд других.



Рис. 3.1.1. Отличия практики обращения с РАО в России от принятой в мире

В то же время подчеркнуто, что в Российской Федерации начались работы по созданию системных подходов в обращении с ОЯТ и РАО. Было отмечено, что принята «Программа деятельности Госкорпорации «Росатом» на долгосрочный период (2009–2015 годы)», одно из направлений которой — «Обеспечение безопасной эксплуатации объектов использования атомной энергии и выполнение норм ядерной и радиационной безопасности», разработан проект Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами», выбирается площадка для захоронения РАО в глубоких геологических формациях, Российская Федерация принимает активное участие в международной деятельности по разработке многосторонних подходов к обеспечению безопасности в ЯТЦ.

По результатам обсуждения Второго национального доклада была подчеркнута необходимость реализации запланированных мероприятий, повышающих безопасность при обращении с ОЯТ и РАО, в том числе:

- создание Единой государственной системы обращения с РАО;
- строительство сухого хранилища ОЯТ на ГКК;
- разработка проекта Федерального закона «Об обращении с отработавшим ядерным топливом»;
- завершение репатриации высокообогащенного ОЯТ исследовательских реакторов.

В рамках подготовки третьего доклада Российской Федерации генеральным директором Государственной корпорации по атомной энергии С.В. Кириенко и руководителем Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору Н.Г. Кутыным был утвержден «Порядок подготовки и представления в МАГАТЭ Третьего национального доклада Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами».

Работы по сбору исходных материалов, их аналитической обработке, организация согласований при подготовке проекта национального доклада проводились при участии специалистов ИБРАЭ РАН и ФБУ «НТЦ ЯРБ», Дирекции по ядерной и радиационной безопасности и Департамента ядерной и радиационной безопасности Госкорпорации «Росатом» и профильных отделов 5-го и 6-го Управлений Ростехнадзора.

Подготовка проекта Третьего национального доклада и его согласование в Госкорпорации «Росатом» и Ростехнадзоре были завершены к концу мая 2011 года. Его основные положения 6 июля 2011 года были рассмотрены на заседании тематической секции №10 «Ядерная и радиационная безопасность» Научно-технического совета Госкорпорации «Росатом». Секцией были одобрены представленные материалы проекта Третьего национального доклада. Разработчикам национального доклада было предложено отразить в тексте факт вступления в силу Федерального закона №190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и сохраняющееся действие федеральных норм и правил в области обращения с радиоактивными отходами. Рекомендации секции были учтены.

К концу июля 2011 года текст доклада [8] был согласован с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и утвержден Госкорпорацией «Росатом» и Ростехнадзором.

Российская Федерация вошла в шестую группу наряду с такими странами, как Беларусь, Венгрия, Канада, Киргизстан, Латвия, Норвегия, Польша, Финляндия и



Хорватия. На этапе заочного обсуждения по Третьему российскому национальному докладу 16 стран задали 142 вопроса, касающихся всего спектра вопросов в сфере обращения с ОЯТ и РАО. Российские эксперты, в свою очередь, подготовили большое количество вопросов к национальным докладам других договаривающихся сторон. Многие страны традиционно были заинтересованы в получении более подробной информации о состоянии безопасности на объектах комбинатов, работавших по оборонным программам, обосновании безопасности закачки РАО в геологические пласты-коллекторы, об укреплении независимости органа регулирования безопасности. Особый интерес вызвали и различные аспекты создания Единой государственной системы обращения с РАО.

Очередное, четвертое, совещание договаривающихся сторон по рассмотрению выполнения обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, проходило 14–23 мая 2012 года. В работе совещания приняли участие более 600 представителей из 54 стран. Российской Федерацией была подтверждена политика в области обращения с ОЯТ, базирующаяся на положении о том, что ОЯТ не является радиоактивными отходами. Заявленная политика в области обращения с РАО определена положениями Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и направлена на дальнейшее развитие нормативной и организационной основ системы обращения с РАО и создание системы пунктов захоронения.

Основные положения российского национального доклада были отражены в презентациях заместителя руководителя Ростехнадзора В.С. Беззубцева (регулирование безопасности при обращении с ОЯТ и РАО) и директора Дирекции по ядерной и радиационной безопасности Госкорпорации «Росатом» О.В. Крюкова (практическая деятельность), которые были приняты с большим интересом. При обсуждении российского доклада подавляющая часть выступавших отметила значительный прогресс в области обеспечения безопасности обращения с ОЯТ и РАО в нашей стране. В ходе рассмотрения российского доклада участники группы задали более 20 вопросов для уяснения подходов российской стороны к обеспечению безопасности атомной отрасли, оценки прогресса в решении задач и понимания технических особенностей проектов. Они касались создания пунктов захоронения РАО в Ленинградской области и Красноярском крае, строительства Балтийской АЭС, реагирования на аварию на АЭС «Фукусима-1», обеспечения безопасности Теченского каскада водоемов, технических аспектов закачки ЖРО в глубинные пласты-коллекторы, возврата РАО после переработки зарубежного ОЯТ, обеспечения независимости регулирующего органа, взаимодействия с населением и общественностью при принятии решений и т. д.

В соответствии с [6, 7] на заседании группы в режиме прямого обсуждения долгосрочной политики, текущей практики, вопросов финансирования, будущих планов и других аспектов для каждой страны было подготовлено краткое заключение по результатам рассмотрения российского доклада — выводы, отражающие положительную практику и нерешенные задачи в областях обращения с ОЯТ, РАО и закрытыми источниками, выводу объектов из эксплуатации. Российская делегация активно способствовала достижению полноты и корректности итоговых документов, касающихся как Российской Федерации, так и других стран шестой группы.

На пленарных заседаниях участники совместно подготовили сводные заключения, отражающие основные достижения за прошедший период, а также задачи на сле-

дующие три года для каждой страны. В частности, была отмечена положительная российская практика:

- тенденция к необходимости подтверждения наличия денежных средств на осуществление вывода из эксплуатации и захоронение при получении лицензии Ростехнадзора операторами АЭС;
- возврат ОЯТ российского происхождения для переработки, и действие международных соглашений в этой сфере;
- разработка новых ТУКов, сертифицированных для всех четырех видов транспорта;
- разработка и совершенствование долгосрочных планов по обеспечению безопасности объектов «ядерного наследия».

В целом рассмотрение российских национальных докладов показало, что международное сообщество весьма положительно оценивает происходящие изменения в области обращения с ОЯТ и РАО. Каждое новое совещание демонстрировало рост глубины понимания специфики российской ситуации. Одновременно достаточно четко прослеживалась тенденция нарастания объема сложных вопросов, в том числе в части, касающейся обращения с РАО. Причины этого достаточно очевидны. Это естественная реакция на нарастающий объем заказов на строительство АЭС российских проектов, значимую долю России в мировом производстве ядерного топлива и стремление к их росту. Эти сложные вопросы можно сформировать в несколько групп:

Большие объемы накопленных РАО. По этой группе вопросов в целом есть понимание того, что ситуация связана с прошлой деятельностью, что в отношении этих РАО планировались, а теперь и реализуются программы по повышению безопасности.

Отсутствие традиционной практики захоронения в крупных национальных пунктах захоронения. По этой группе вопросов также есть понимание того, что ситуация меняется, в том числе планируются работы по созданию пунктов захоронения. Однако со временем следует ожидать, что потребуются большая открытость и доказательность, по крайней мере, в рамках совещаний, в части соответствия безопасности планируемых к созданию пунктов захоронения требованиям МАГАТЭ.

Большие объемы образования РАО. Ситуация во многом усугубляется существующей системой учета РАО, в рамках которой не показывается раздельное образование РАО на предприятиях по добыче и переработке урановых руд и при выводе из эксплуатации, где образуется основной объем РАО, и в рамках эксплуатации базовых технологий (АЭС, применение источников и радиоактивных веществ).

Очень малый в абсолютном выражении и относительно малый по базовым технологиям уровень доли кондиционирования отходов. В случае низких темпов роста этого показателя уже в 2015–2018 годах можно ожидать постановку вопроса о полноценности и экологичности российских ядерных технологий.

Продолжение практики использования водоемов-хранилищ РАО для размещения вновь образующихся жидких РАО. Временной ресурс, обусловленный возможностью обоснования вынужденности этих операций, по-видимому, не превысит 5–10 лет.

Продолжение практики закачки жидких РАО с целью захоронения, как ограниченная, но продолжающаяся практика.

Напомним, что в Российской Федерации метод подземного захоронения ЖРО более 40 лет успешно применяется на предприятиях атомной промышленности для окончательной изоляции жидких РАО, не содержащих значимых количеств долгоживущих нуклидов. За это время удалено более половины всех радиоактивных отходов,

образовавшихся при выполнении оборонных программ. В настоящее время в Российской Федерации действуют три полигона подземного захоронения ЖРО — на СХК, ГХК и в НИИАР. Полигоны осуществляют свою деятельность на основании лицензий, получаемых только при наличии необходимого обоснования безопасности. Кроме того, для обеспечения объективности оценки безопасности захоронения выполнено 4 международных проекта для СХК, ГХК и НИИАР с участием АEA Technology (Великобритания), Международного института системного анализа (Австрия), Европейской комиссии, которые в итоге завершились положительной оценкой метода.

Понимание важности практики захоронения ЖРО и необходимости ее более значимого на международном уровне обоснования инициировало (еще в рамках третьего совещания) идею проведения так называемого «peer review» — международной экспертизы безопасности подземного захоронения жидких РАО. Официальное подтверждение согласия российской стороны на проведение «peer review», подписанное заместителем министра природных ресурсов и экологии России, было направлено в МАГАТЭ еще в 2009 году.

В 2010–2012 годах обсуждался проект технического задания на проведение миссии, а в 2012 году, после проведения четвертого совещания, началось детальное обсуждение программы работ. В конце 2012 года миссия МАГАТЭ начала свою работу. Некоторые вопросы методологии работы миссии, основанные на документе «Требования безопасности: захоронение радиоактивных отходов» [9], будут рассмотрены в главе 7.

### 3.2. Определение путей развития системы обращения с РАО

В новых условиях развития комплекс вопросов, связанных с решением накопленных в сфере ядерной и радиационной безопасности проблем, впервые был рассмотрен на семинаре в ЛОК «Колонтаево» в феврале 2006 года [10]. К обсуждению было привлечено более 100 специалистов предприятий и смежных отраслей.

Одной из рассмотренных на семинаре тем стало определение структуры и состава наследия. Вопрос достаточно сложный и до настоящего времени обсуждается, в том числе в МАГАТЭ. Широко распространен подход, предполагающий, что к наследию, в контексте финансовой ответственности государства, следует относить только то, что было создано в интересах обороны и эксплуатировалось в прошлом. Этот подход предполагает, что все, что эксплуатируется в настоящее время, должно полностью себя обеспечивать в смысле заключительных стадий жизненного цикла и обращения с РАО. В крайнем своем выражении обеспечивать и обращение с ранее накопленными РАО. Несколько иной подход предполагает, что «объект наследия» это объект прошлой деятельности, за которые оператор не несет ответственности в плане их реабилитации. Обычно в мировой практике под объектами наследия подразумеваются объекты прошлой ядерной деятельности, которые не вполне отвечают современным нормам безопасности и в силу этого требуют каких-либо действий.

Подавляющее большинство отраслевых специалистов придерживалось более широкого понимания данного понятия. В основе их позиции лежали следующие доводы. Государство определяло цели, задачи и условия деятельности. Эти условия, как уже не раз отмечалось, предполагали откладывание ряда вопросов на последующие периоды. При этом плановая экономика подразумевала, что лучше всего средствами распоряжается государство, и оно выделит в нужный период времени все необходимые средства. Однако жизнь показала, что это не так. Следствием этого стало боль-

шое количество сложных проблем, которых, скорее всего, можно было бы избежать путем заблаговременной проработки вопросов завершающих стадий жизненного цикла на этапах проектирования, сооружения и эксплуатации. Практика предшествующих полутора десятилетий предусматривала возложение ответственности за безопасность объектов наследия на предприятия отрасли, что становилось преградой не только для их развития или относительно благополучного состояния, но угрозой для безопасности основных технологических процессов.

Наиболее емкое из прозвучавших на семинаре определений наследия формулировалось следующим образом: «Ядерное наследие — все, что накоплено до момента образования финансовых резервов по обращению с отходами». Оно отражало готовность к восприятию новых реалий, а именно того, что функционирование в режиме перекалывания бремени на последующие поколения близится к завершению. А в новых условиях предстоит организовывать деятельность с расчетом на полную окупаемость при значимом росте расходов на завершающие стадии жизненного цикла.

Вопрос развития системы обращения с РАО был одним из центральных. Это центральное место связано с тем, что помимо собственно накопленных РАО, работы по основным компонентам наследия также должны были привести к образованию РАО (рис. 3.2.1).

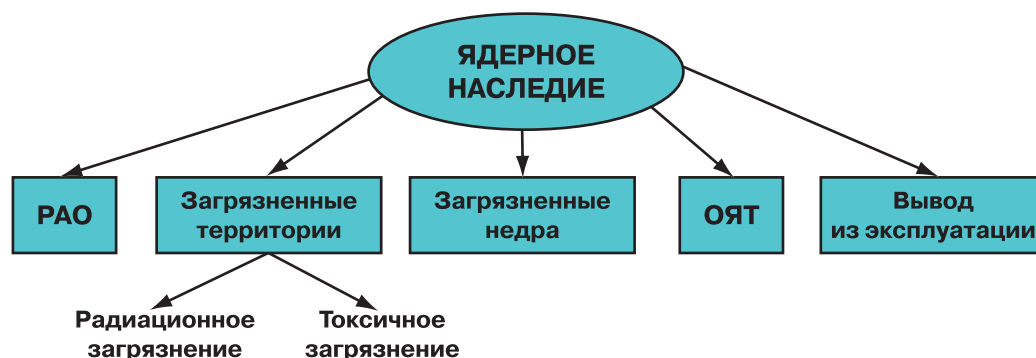


Рис. 3.2.1. Структура ядерного наследия в видении февраля 2006 года

Выработанные на семинаре представления о будущей государственной системе обращения с РАО и ОЯТ, включали механизм отчислений в специальный централизованный фонд, средства которого идут на обеспечение длительного хранения РАО и ОЯТ и окончательную изоляцию РАО. Предполагалось, что наполнение фонда будет осуществляться за счет средств предприятий, а также федерального бюджета и бюджетов субъектов федерации в части решения накопленных проблем. Сегодня эти представления о возможности функционирования централизованного фонда следует признать чересчур упрощенными. В функции централизованного управления зачастую включали хранение, кондиционирование и перевозку РАО. Вопросы нормативно-правового обеспечения также рассматривались, но считались в определенной мере второстепенными. По-видимому, это явилось следствием переоценки возможностей прямого управления предприятиями, в особенности в условиях их последующего акционирования. Второй причиной недооценки роли нормативно-правового обеспечения стали неопределенности судьбы атомного права в целом. Напомним, что перс-



пективы развития нормативно-правовой базы в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности в тот период находились под влиянием очень серьезной дискуссии, стартовавшей с момента принятия федерального закона «О техническом регулировании». Стоял вопрос о сохранении статус-кво федерального закона «Об использовании атомной энергии». Считалось, что это можно было сделать только путем выхода из сферы действия закона «О техническом регулировании». Процесс такого размежевания вышел на стадию завершения только в конце 2011 года, после вступления в силу № 347-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях регулирования безопасности в области использования атомной энергии».

В целом по итогам семинара наиболее срочной задачей была определена разработка проекта ФЦП. Тем не менее, параллельно работе над программой велась и проработка вопросов развития системы обращения с РАО. Результатом этой проработки на рубеже 2006–2007 годов стал документ [11] под названием «Доктрина обращения с радиоактивными отходами в Российской Федерации» (далее — Доктрина), который представлял собой совокупность целей, принципов, задач, основных направлений обеспечения безопасности населения, включая последующие поколения, сохранения природы и улучшения окружающей среды при обращении с радиоактивными материалами на территории Российской Федерации.

На основе анализа состояния проблемы в Доктрине делались следующие выводы:

*«Требуется дальнейшее нормативно-правовое регулирование следующих вопросов по обеспечению безопасности при обращении с РАО:*

- *не определены четкие критерии и процедуры признания ядерных материалов и радиоактивных веществ РАО или вторичным сырьем;*
- *существующая категоризация РАО не в полной мере соответствует современным данным об их потенциальной опасности и приводит к неоправданным расходам на их обслуживание;*
- *не полностью урегулированы вопросы прав собственности на РАО и, в частности, на РАО, не содержащие ядерных материалов и образовавшиеся в организациях с частной формой собственности.*

*Основные расходы по обращению с РАО, накопленными в результате выполнения оборонных программ, несут отдельные федеральные государственные унитарные предприятия, что отрицательно сказывается на эффективности их основной деятельности.*

*Необходимость оптимизации работ по обращению с РАО приобретает особое значение в связи с расширением работ по выводу атомных объектов из эксплуатации.*

*Важным направлением в организации работ по обращению с РАО является создание в Российской Федерации эффективной системы государственного управления деятельностью по обращению с РАО, имеющей целью максимальное уменьшение риска для нынешнего и будущих поколений.»*

Прокомментируем некоторые из этих положений с позиций сегодняшнего дня.

Во-первых, обращает на себя внимание постановка цели: «обеспечения безопасности населения... при обращении с радиоактивными материалами на территории Российской Федерации». Эта цель в принципе достигается действующей системой обеспечения радиационной безопасности. В качестве цели развития системы управления обращением с РАО также определяется максимальное уменьшение рисков. Эта тема была уже рассмотрена в разделе 1.3 настоящей монографии. Во-вторых, в качестве основного довода в пользу необходимости развития систем обра-



ния указывается на расширение объема работ по выводу из эксплуатации. Это реально важная задача, но представляется гораздо более правильным ставить задачу приведения системы обращения с РАО в соответствие с задачами развития атомной энергетики в России и планами по экспорту ядерных технологий, в том числе строительства АЭС.

В Доктрине впервые была сформулирована идея создания ЕГС РАО, которая в настоящее время реализуется в рамках принятого закона. В рамках раздела «основные цели и принципы» присутствовали, в основном, правильные тезисы и формулировки, которые, однако, не создавали целостного представления о практических механизмах их реализации. Для обоснования этого тезиса вновь придется привести относительно небольшие фрагменты Доктрины, в которых комментируемые положения выделены жирным шрифтом:

*«Основными целями создания единой государственной системы обращения с РАО являются:*

- *обеспечение государственных гарантий безопасного обращения с РАО;*
- *минимизация РАО, образующихся в результате деятельности по обращению с радиоактивными материалами;*
- *перевод накопленных РАО в более безопасные формы.*

*Основными принципами единой государственной системы обращения с РАО являются:*

- *окончательная изоляция РАО;*
- *обязательное декларирование организациями, осуществляющими деятельность по обращению с радиоактивными материалами, в результате которой образуются РАО, объемов и параметров получаемых и временно хранимых РАО;*
- *обязательная государственная регистрация пунктов хранения и окончательной изоляции РАО;*
- *государственная собственность на пункты окончательной изоляции РАО;*
- *экономическое стимулирование организаций, осуществляющих деятельность по обращению с радиоактивными материалами, в результате которой образуются РАО, по минимизации объемов и активностей РАО;*
- *возможность деятельности организаций любых форм собственности в решении задач по обращению с РАО;*
- *наличие государственного управления и государственного регулирования безопасности деятельности по обращению с РАО;*
- *разрешительная система (лицензирование) деятельности по обращению с РАО;*
- *соответствие международным рекомендациям в вопросах деятельности по обращению с РАО;*
- *обеспечение финансирования работ по созданию и эксплуатации пунктов окончательной изоляции, длительность жизненного цикла которых должна обеспечиваться на 100–300 и более лет».*

Тезис о минимизации объемов образования РАО при использовании атомной энергии безупречен как общий принцип и руководство для эксплуатирующих организаций (производителей РАО). Однако в рамках целей создания системы он представлен неверно. Система должна создаваться для своевременного изъятия и захоронения РАО с обязательной оплатой его захоронения. Это самый жесткий и действенный экономический стимул. Понятно, что он не может быть назван зеркальным образом — экономическим стимулированием организаций по минимизации объемов и активностей РАО.

*«Аналогична ситуация была и с основными задачами ЕГС РАО:*

- *перевод накопленных РАО в максимально безопасное состояние;*
- *совершенствование проектов по минимизации объемов и активности образующихся РАО;*
- *комплексные проектные решения по обращению с радиоактивными материалами на всех этапах их жизненного цикла вплоть до их окончательной изоляции;*
- *создание отвечающего современным требованиям комплекса нормативно-правовых актов, регламентирующих вопросы обеспечения безопасности на всех этапах обращения с РАО;*
- *формирование устойчивых источников финансирования всех видов такой деятельности;*
- *создание эффективной инфраструктуры по обращению с РАО, включая создание федеральных и региональных пунктов окончательной изоляции РАО».*

Тезис о переводе накопленных РАО в максимально безопасное состояние также трудно реализуем. Накопленные РАО находятся в объектах, которые являются чьей-то собственностью и под чьей-то ответственностью (эксплуатирующие организации).

И перекладывать задачу обеспечения их безопасности на государственную систему не правильно. Аналогична ситуация и с двумя следующими задачами. Минимизация образования РАО и все проектные решения являются исключительной компетенцией организации, эксплуатирующей объект использования атомной энергии.

*«В качестве основных элементов ЕГС РАО концепция определяла:*

- *государственный компетентный орган по управлению обращением с РАО (ГКО РАО), назначаемый Правительством Российской Федерации из числа органов государственного управления использованием атомной энергии, контролирующего максимальное количество РАО, находящихся (получаемых) на территории Российской Федерации;*
- *государственный внебюджетный фонд изоляции РАО; специализированная организация по управлению обращением с РАО;*
- *региональные и федеральные пункты по изоляции РАО, находящиеся под ответственностью государства;*
- *эксплуатирующие организации, уполномоченные ГКО РАО осуществлять эксплуатацию пунктов окончательной изоляции РАО;*
- *эксплуатирующие организации, уполномоченные ГКО РАО осуществлять переработку и кондиционирование РАО;*
- *организации, в том числе эксплуатирующие, вне зависимости от форм собственности (резиденты и нерезиденты), осуществляющие на территории Российской Федерации деятельность, связанную с образованием РАО».*

Сразу отметим, что идея органа управления в области обращения с РАО впоследствии была полностью реализована, хотя и более простым образом, — им стала Госкорпорация по атомной энергии. При этом у органа управления не появилось несвойственных ему функций, например, уполномочивать какую-либо организацию на деятельность по переработке и кондиционированию РАО. Идея государственного внебюджетного фонда не соответствовала бюджетному законодательству. Идея об ответственности государства за пункты захоронения получила дальнейшее развитие уточнение.

В области финансирования работ Доктрина предусматривала три финансовых потока (накопленные РАО, от текущей деятельности и на создание инфраструктуры), что также получило дальнейшее развитие, но без их объединения в рамках единого внебюджетного фонда, а именно это предусматривала Доктрина:

*«Государственный внебюджетный фонд изоляции РАО включает:*

- средства государственного бюджета, необходимые для окончательной изоляции всех РАО, накопленных в ходе предыдущей деятельности предприятий по обеспечению оборонных программ;*
- средства государственного бюджета, необходимые для окончательной изоляции РАО текущей деятельности по государственному оборонному заказу;*
- средства предприятий, осуществляющих деятельность по обращению с радиоактивными материалами, в результате которой образуются РАО;*
- средства производителей и импортеров радионуклидной продукции для ее утилизации (окончательной изоляции);*
- иные средства.*

*Формирование фонда осуществляется в накопительном режиме за счет указанных выше источников.*

*Размеры отчислений в государственный внебюджетный фонд изоляции РАО устанавливаются законодательством в зависимости от потенциальной опасности РАО.*

*ГКО утверждает программы расходования средств по представлению специализированной организации.*

*Контроль расходования средств фонда осуществляется в соответствии с действующим законодательством».*

В качестве перспективной идеи, к сожалению, не получившей своего развития, следует отметить идею заблаговременной аккумуляции средств производителей и импортеров радионуклидной продукции для последующего захоронения отработавших источников ионизирующих излучений.

В области управления предусматривались полномочия, выходящие далеко за рамки, предусмотренные Федеральным законом «Об использовании атомной энергии», например:

*«ГКО РАО разрабатывает и утверждает в порядке, определенном законодательством, требования и нормы по обращению с РАО, обязательные для исполнения всеми организациями, осуществляющими данный вид деятельности.*

*Государственный компетентный орган по управлению обращением с РАО по решению Правительства Российской Федерации определяет (создает) специализированную организацию для обеспечения управления работами по обращению с РАО.*

*Эта организация является основой инфраструктуры обращения с РАО в Российской Федерации, имея на своем балансе все находящиеся на территории Российской Федерации пункты окончательной изоляции РАО».*

Отметим, что идея одной организации, ответственной за захоронение РАО, получила свое дальнейшее развитие в форме национального оператора, которого определило Правительство Российской Федерации. Еще больше идей получило дальнейшее развитие из следующего раздела Доктрины:

*«Организации, осуществляющие деятельность по обращению с РАО, обязаны:*

- осуществлять в порядке, установленном законодательством, платежи в государственный внебюджетный фонд изоляции РАО;*
- осуществлять временное хранение РАО в пределах установленных для них нормативов;*
- передавать РАО специализированной организации для окончательной изоляции».*

Это идеи обязательности передачи на захоронение, платежей за РАО, передаваемых на захоронение, и ограничения временного хранения.

По-видимому, мы отметили достаточно причин, по которым Доктрина не была поддержана и утверждена. Тем не менее, на ее основе в 2007 году был сформирован законопроект, который также не вышел за рамки отраслевых обсуждений.

Столь подробное обсуждение одного из проектов будущей конструкции системы обращения с РАО осуществлено с целью продемонстрировать, как поэтапно формулировались и вырабатывались представления о будущем облике системы. И в этом плане Доктрина представляется важным этапным шагом, хотя и обремененным некоторыми малоперспективными положениями.

### **3.3. Формирование основных положений проекта федерального закона по обращению с радиоактивными отходами**

Летом 2007 года первоочередная задача, поставленная в феврале 2006 года на семинаре в Колонтаево, была успешно решена — Правительством Российской Федерации была утверждена ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Решающую роль в ее разработке и утверждении сыграли руководитель Федерального агентства по атомной энергии С.В. Кириенко, заместитель руководителя А.Б. Малышев, руководитель департамента А.М. Агапов, а также группа сотрудников ИБРАЭ РАН (директор — член-корреспондент РАН Л.А. Большов). В этой группе ключевую роль играли — заместитель директора И.И. Линге, руководители групп А.И. Илюшкин, Д.А. Никишин, Н.Г. Бобров. Таким образом, сформировались условия, когда коллектив разработчиков программы, аккумулировавший большую совокупность знаний по текущей ситуации в сфере обеспечения ЯРБ, можно было частично переориентировать на решение вопросов развития нормативно-правовой базы, и в первую очередь, в области обращения с РАО. Этому способствовало определенное знание международных и зарубежных документов в этой области, получившее существенное развитие при подготовке национальных докладов Российской Федерации по Объединенной конвенции.

Однако этот опыт нельзя было считать достаточным для успешной законотворческой деятельности даже с учетом фактического подключения к работе ряда ведущих российских специалистов в области атомного права. В сентябре 2007 года по инициативе директора ИБРАЭ РАН Л.А. Большова было заключено соглашение со шведской компанией SCB-International. Это дочерняя кампания шведского оператора по обращению с отходами — организатора одной из самых эффективных практик обращения с РАО в мире. Соглашение было поддержано органом регулирования ядерной и радиационной безопасности Швеции. Его реализация осуществлялась в 2007—2010 годах. В ее рамках обсуждалось содержание будущего закона, готовились объемные информационные материалы для российских организаций, было проведено три семинара в Москве [13].

Осенью 2007 г. группа разработчиков нового проекта закона была, в основном, сформирована. В нее вошли д. т. н. И.И. Линге, к. ф.-м. н. В.Д. Ковальчук, к.э.н. С.В. Стрижова, к.э.н. И.Л. Абалкина (ИБРАЭ РАН) и к.ю.н. О.А. Супатаева (ИГП РАН).

Значимую поддержку в разработке текста законопроекта также оказывали к. т. н. С.Н. Брыкин (ВНИИХТ), к. т. н. Р.Б. Шарафутдинов (НТЦ ЯРБ), сотрудники Госкорпорации «Росатом» (Е.В. Евстратов, А.М. Агапов, С.В. Дьяков). Благодаря совместным усилиям весной 2008 года законопроект был рассмотрен и одобрен в Госкорпорации «Росатом» и начато его согласование с заинтересованными органами федеральной исполнительной власти.



Согласованию способствовало то, что разработка проекта Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами» была предусмотрена планом мероприятий по выполнению второго этапа реализации Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности России на период до 2010 года и дальнейшую перспективу. Однако в силу процедурных правил законопроект максимально полно учитывал замечания и предложения всех заинтересованных ведомств и организаций. Следствием этого явилась значительная перегруженность законопроекта вторичными и декларативными нормами и положениями. На этом этапе выяснилось, что движение вперед, инициированное и осуществлявшееся Госкорпорацией «Росатом», происходит без какой-либо значимой поддержки со стороны заинтересованных ведомств, научного сообщества и общественности в целом. Зачастую мелкие и малозначимые вопросы становились поводом для длительных дискуссий и согласований. Специалисты одного из ведомств, например, возражали, со ссылкой на Объединенную конвенцию, против какого-либо упоминания перевозок РАО. Действительно она не затрагивает вопросы перевозок. Но в рамках закона предстояло определить, в чью зону ответственности входит перевозка к месту захоронения. И единственно правильным решением представлялось, что это ответственность «производителя» РАО. Много времени и сил ушло на поиски альтернативы понятию «производитель РАО». В конце концов, решение было найдено — им стали «организации, в результате деятельности которых образуются радиоактивные отходы». В этот же период было решено отказаться от понятия «окончательная изоляция РАО». Оно уже достаточно хорошо закрепилось в профессиональной среде, однако в очень большом количестве нормативно-правовых документов присутствовало более привычное понятие «захоронение». Возврат к захоронению привел к значительному сокращению объема текста. Но это, так скажем, относительно простые ситуации.

Были и более сложные проблемы, связанные с согласованием законопроекта с ключевыми ведомствами, в том числе с Минфином России и Минэкономразвития России. Решающую роль в успешном прохождении завершающих стадий рассмотрения и согласования в Правительстве Российской Федерации сыграло активное участие заместителя генерального директора, статс-секретаря Госкорпорации «Росатом» к.х.н. Т.Л. Ельфимовой. На этом этапе в работе над законопроектом активно подключились к.э.н. Ю.Д. Поляков и А.С. Иорданов.

Часть этих сложных проблем удалось успешно решить, но в некоторых случаях были и вынужденные компромиссы. Ограничимся одним примером. В конце 2009 года на завершающей стадии обсуждения законопроекта в Правительстве России вследствие жесткой позиции Минэкономразвития под действие законопроекта была вовлечена большая группа материалов неядерной природы, образующихся при добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов. Речь идет не о добыче урана, а добыче любого минерального и органического сырья. Это принципиальное осложнение для системы обращения с РАО, которая должна была бы действовать в жесткой связке с общей системой регулирования безопасности при использовании атомной энергии. В полной мере проблемность этого дополнения еще не осознана, в том числе и организациями топливно-энергетического комплекса. Однако дополнительная нагрузка на систему обращения с РАО, находящуюся еще в зачаточном состоянии, несомненна. Включение в сферу действия этих материалов создает существенный зазор — обращение с РАО является видом деятельности при использовании атомной энергии, а добыча минерального и органического сырья к ним не относится (за исключением добычи урана).



Подобный подход не вполне соответствует зарубежной практике и духу Объединенной конвенции. В ней (часть 2 статьи 3) указывается, что «Конвенция не применяется к отходам, которые содержат лишь природные радиоактивные вещества и не образуются в ядерном топливном цикле, кроме тех случаев, когда они представляют собой изъятый из употребления закрытый источник или когда для целей настоящей Конвенции они объявлены договаривающейся стороной радиоактивными отходами».

Осенью 2009 года законопроект был представлен в Правительство Российской Федерации, рассмотрен на правительственной комиссии по законотворческой деятельности, а затем и представлен на заседании Правительства России. Текст этого представления, пожалуй, в наилучшей степени отражал замысел законопроекта. В связи с этим целесообразно его привести полностью:

*«Законопроект должен обеспечить формирование современной национальной системы обращения с РАО, отвечающей требованиям Объединенной конвенции о безопасности обращения с ОЯТ и РАО.*

*Основной предмет регулирования законопроекта — установление требований по обязательному захоронению РАО, а также создание механизмов финансового обеспечения по обращению с РАО вплоть до захоронения.*

*До настоящего времени предприятия атомной промышленности и других отраслей работают без оплаты за образование РАО. Требования по захоронению РАО также не установлены. Как следствие, более 99% отходов находится в местах их образования.*

*Поступающие на спецкомбинаты РАО размещаются в хранилищах, а не в пунктах захоронения. В стране более тысячи хранилищ. Всего накоплено больше 500 млн тонн РАО, что требует постоянно возрастающих расходов. Основной объем накопленных РАО — это РАО от оборонной деятельности.*

*Настоящий законопроект распространяется на все виды РАО, образующиеся при использовании атомной энергии в гражданском секторе, в оборонных целях, а также при добыче и переработке сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов.*

*В целях ограничения дальнейшего накопления для производителей отходов законопроектом устанавливаются лимиты на объемы и продолжительность промежуточного хранения. В течение времени, определенного лимитами, РАО должны быть приведены в состояние, пригодное для захоронения, и переданы Национальному оператору с оплатой услуг по захоронению. Это будет дополнительным, но необходимым бременем для предприятий. Прежде всего, для предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом».*

*Координация и практическая реализация работ возлагается на Госкорпорацию «Росатом» и Национального оператора по обращению с РАО.*

*В компетенцию первой будет входить определение лимитов промежуточного хранения РАО для организаций, эксплуатирующих особо радиационно и ядерно опасные производства и объекты, по согласованию с другими органами управления, а также подготовка предложений по тарифам на услуги Национального оператора и контроль за его деятельностью.*

*Национальный оператор станет основной организацией, ответственной за захоронение РАО. С учетом срока потенциальной опасности отходов, предлагаемая мера гарантирует обеспечение безопасности пунктов захоронения РАО на длительном отрезке времени. Услуги по кондиционированию, транспортированию и хранению РАО смогут оказывать специализированные организации, для которых предусмотрена процедура аккредитации.*

*Законопроектом заложены два механизма оплаты услуг по захоронению. Для организаций, входящих в перечень эксплуатирующих ядерно и радиационно опасные объекты, предусмотрен механизм отчислений в специальный резервный фонд. Для других производителей — режим разовых платежей при передаче РАО Национальному оператору или специализированной организации.*

*Законопроектом предусмотрена процедура ведения регистра РАО и кадастра пунктов захоронения, что позволит обеспечить сохранность информации о РАО на необходимое и уникальное по продолжительности время, а также возможность управления работами по захоронению РАО.*

*Для эффективного решения проблемы с накопленными РАО законопроектом предусмотрена категория особых РАО. Работа с особыми РАО будет вестись предприятиями бюджета в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» и подпрограммы утилизации АПЛ, а также субсидии на сбор, переработку и хранение РАО.*

*Организация полноценной системы обращения с РАО будет сопровождаться технологической перестройкой работы производителей РАО. Это позволит своевременно захоранивать образующиеся РАО, а не перекладывать это бремя на будущие поколения. На первом этапе предполагается формирование необходимой нормативной и организационной основ системы, а также инвентаризация накопленных РАО. Следующий этап — создание системы межрегиональных пунктов захоронения низко и среднеактивных РАО (10–12 пунктов). Более отдаленный этап — национальный могильник высокоактивных РАО.*

*Социально-экономическими последствиями принятия законопроекта явится уменьшение объемов и повышение безопасности хранимых РАО, а также ряд других положительных эффектов, среди которых отметим:*

- снижение экологических и экономических рисков, связанных с хранением большого количества накопленных РАО;*
- повышение конкурентоспособности российских ядерных технологий.*

*Законопроект не предусматривает пересмотра полномочий федеральных органов исполнительной власти в области управления и регулирования безопасности при использовании атомной энергии. Они детализируются в части завершающих стадий обращения с РАО.*

*Большой объем полномочий остается за Правительством Российской Федерации, например, по системе отчислений в специальные резервные фонды, по пунктам захоронения, по порядку передачи РАО из оборонной сферы в гражданскую, по перечню пунктов размещения и захоронения особых РАО.*

*Предлагаемые законопроектом подходы успешно применяются в развитых странах».*

*В декабре 2009 года законопроект был внесен Правительством в Государственную Думу, а январе 2010 года — рассмотрен и принят в первом чтении. Последующее рассмотрение законопроекта оказалось итерационным. В достаточно короткий период после первого чтения поступило свыше 160 замечаний и поправок от депутатов Государственной Думы, членов Совета Федерации, иных субъектов законодательной инициативы и общественности. В соответствии с принятыми процедурами законопроект был направлен на согласование в Правительство Российской Федерации и заинтересованные органы исполнительной власти, где вызвал ряд серьезных замечаний, в том числе со стороны Минфина России, главным образом по вопросам собственности на пункты захоронения, собственности на РАО и финансированию захо-*

ронения РАО. Рассмотрение поправок велось с участием представителей Правительства Российской Федерации, Администрации Президента Российской Федерации, депутатов Государственной Думы и членов Совета Федерации, профильных ученых и специалистов, а также общественных организаций, в том числе с непосредственным участием экологических организаций. В последующем Комитетом Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии к рассмотрению во втором чтении был представлен проект Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В целом же при представлении на рассмотрение во втором чтении отмечалось, что ко второму чтению в профильный комитет поступило 382 поправки. Из них 237 поправок комитет рекомендовал к принятию, 145 — к отклонению.

Большая часть поправок содержательных была сконцентрирована вокруг нескольких вопросов, по которым предлагалось:

1. С учетом необходимости внесения изменений уточнить наименование законопроекта.
2. Еще раз ограничить сферу действия законопроекта и прямо указать, что он не распространяется на отработавшее ядерное топливо.
3. Существенно расширить блок вопросов по ввозу в Российскую Федерацию и вывозу из Российской Федерации радиоактивных отходов.
4. Запретить захоронение жидких радиоактивных отходов в геологических горизонтах (пластах-коллекторах). Было много поправок на эту тему, в том числе с утверждениями о нарушениях Водного кодекса Российской Федерации, Федерального закона «Об охране окружающей среды» и т. д.
5. Повысить уровень ряда документов, в том числе устанавливающих критерии отнесения к радиоактивным отходам, переведя их из статуса федеральных норм и правил в статус постановлений Правительства Российской Федерации.
6. Конкретизировать отдельные процедуры и полномочия в области обращения с радиоактивными отходами.
7. Усилить положения о полном финансовом обеспечении обращения с вновь образующимися радиоактивными отходами за счет средств организаций, в результате деятельности которых такие отходы образовались.
8. Установить собственность на пункты захоронения РАО исключительно как федеральную (в первом чтении предполагалась и собственность Госкорпорации «Росатом»).
9. Более четко описать полномочия органов государственной власти субъектов Российской Федерации и местного самоуправления.
10. Исключить из текста законопроекта положения, определяющие экономическую целесообразность решений, в том числе по отнесению радиоактивных отходов к особым РАО.

Кроме этого большое количество поправок предусматривало радикальные или экзотические идеи.

Первые семь блоков вопросов были одобрены профильным комитетом Государственной Думы. Прокомментируем некоторые из них (3, 4 и 5).

Положения, регулирующие условия ввоза радиоактивно загрязненных материалов и отработавших источников, были ориентированы на рост потенциала комплексных услуг на мировом рынке. К сожалению, в ходе обсуждений, не удалось отстоять нормы, позволяющие осуществлять ввоз радиоактивно загрязненных материалов для

их переработки с последующим возвращением радиоактивных отходов в страну происхождения. Прямого запрета на такую деятельность нет, но вероятность реализации подобного рода проектов, при отсутствии прямого законодательного указания, остается крайне низкой. Условием ввоза в страну загрязненных материалов для переработки предлагался обязательный вывоз всех образовавшихся РАО в страну происхождения материала. Подобный подход полностью соответствует Объединенной конвенции, в преамбуле к которой указывается, что договаривающиеся стороны признают, что при некоторых обстоятельствах безопасному и эффективному обращению с радиоактивными отходами могут способствовать соглашения между договаривающимися сторонами об использовании установок, в том числе пунктов захоронения, в одной из них в интересах других сторон, в частности в тех случаях, когда отходы образуются в результате осуществления совместных проектов. В качестве положительного момента следует отметить разрешение ввоза на территорию Российской Федерации отработавших источников ионизирующего излучения российского происхождения в целях регенерации или захоронения.

О захоронении ЖРО. Сразу отметим, что вопрос о нарушении Водного кодекса Российской Федерации неправомерен. Этот вопрос рассматривался Верховным Судом Российской Федерации. Им установлено, что действующее законодательство допускает захоронение РАО в геологических горизонтах. Это решение Верховного Суда Российской Федерации от 25.04.2002 г. об отказе в удовлетворении иска о признании недействительным распоряжения Правительства Российской Федерации от 23.10.2001 г. №1392-р, которым предприятию «Сибирский химический комбинат» предоставлено право пользования участком недр для захоронения жидких радиоактивных отходов в глубоких горизонтах, обеспечивающих локализацию таких отходов. Кассационная жалоба заявителей осталась без удовлетворения (определение Кассационной коллегии Верховного Суда Российской Федерации от 11.07.2002 г. №КАС 02-333). Более того, профильный комитет Совета Федерации под председательством В.П. Орлова высказался в поддержку применяемых в России технологий захоронения ЖРО. Тем не менее, в законопроект были внесены поправки, запрещающие создание новых подобных объектов. Решающую роль в этом сыграло мнение о том, что, прежде всего, необходимо добиться одобрения этой практики со стороны МАГАТЭ.

Поправки, связанные с повышением статуса ряда документов, явились следствием острой межведомственной дискуссии, развернувшейся вокруг содержания основных санитарных правил ОСПОРБ-99/2010. Следует отметить, что к моменту обсуждения поправок у участников обсуждения не было полного понимания возможных издержек, связанных с тем, что разработка подобных документов может вестись в существенно более жестких темпах, чем это предусмотрено для федеральных норм и правил в области использования атомной энергии. Аналогична ситуация и с уточнением отдельных процедур и полномочий в области обращения с радиоактивными отходами.

Дискуссии по поправкам групп 8–10 носили весьма напряженный характер.

Собственность на пункты захоронения РАО предлагалось установить как исключительно федеральную (в первом чтении предполагалась и собственность Госкорпорации «Росатом») большинством участников обсуждения. В ряде случаев эти предложения сопровождались развитием структурных идей с созданием специального федерального органа исполнительной власти. В конце концов, в законе сохранилась изначальная формулировка.

Принципиально важно было не допустить появления каких-либо дополнительных полномочий сверх тех, которые уже закреплены за органами государственной



власти субъектов Российской Федерации и местного самоуправления в области использования атомной энергии. В противном случае вопросы размещения пунктов хранения и захоронения РАО могли бы перейти из категории трудно решаемых в категорию не решаемых.

Обсуждение вопроса учета экономической целесообразности при решении вопросов обращения с РАО показало, что принцип приоритета охраны жизни и здоровья настоящего и будущих поколений людей и окружающей среды от вредного воздействия радиоактивных отходов воспринимается большинством участников обсуждений в полном отрыве от реальной структуры существующих рисков для здоровья населения. Более подробно эта тема раскрыта в первом разделе настоящей монографии. Тем не менее, доводы относительно того, что учет экономических факторов — это общепринятый принцип, который отражен в документах международных организаций и в национальном законодательстве, позволили отклонить эти поправки. Напомним, что принцип ALARA (As Low As Reasonably Achievable — настолько низко, насколько это разумно достижимо) широко используется в обосновании деятельности по безопасности и рекомендуется Международной комиссией по радиационной защите. Так, одна из последних публикаций Комиссии — Публикация 103 МКРЗ [12] — в качестве принципа радиационной защиты, применимого ко всем ситуациям, называет принцип оптимизации, согласно которому радиационное воздействие должно быть удержано на таком низком уровне, насколько это разумно достижимо с учетом социально-экономических факторов. В российском законодательстве принцип оптимизации является одним из трех базовых при обеспечении радиационной безопасности, наряду с принципом нормирования и принципом обоснования (НРБ—99/2009), и предусматривает поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов доз облучения и числа облучаемых лиц.

Поправок, содержащих радикальные или экзотические идеи, было достаточно много. Приведем два примера. Один из них связан с радикальной идеей возложения всей финансовой ответственности за накопленные РАО на организации, в которых они размещены. Второй — с предложением перевода в статус закрытого территориального образования населенных пунктов в районах расположения пунктов хранения и захоронения радиоактивных отходов.

Ко второму чтению по замечаниям Правового департамента уточнен и расширен понятийный аппарат законопроекта, учтены требования юридической техники. Также удалось обойтись без таких определений как «лимиты промежуточного хранения РАО» и «производитель РАО». Вместо этого по тексту законопроекта используются термины «сроки промежуточного хранения радиоактивных отходов и объем таких отходов», а также «организации, в результате деятельности которых образуются радиоактивные отходы». В ряде случаев такие поправки сыграли явно положительную роль, как например, в случае с производителями РАО. В других случаях это существенно затруднило понимание текста законопроекта.

Отметим, что одной из существенных потерь качества законопроекта стало исключение развернутых переходных положений, которые должны были запустить механизмы его реализации. Эти положения были сформулированы при работе над законопроектом в Государственной Думе. К сожалению, распоряжение Правительства Российской Федерации по плану подготовки подзаконных актов (ноябрь 2011 г.) не устранило эти потери в полном объеме.

В июне 2011 года законопроект «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» был



принят во втором, а потом и в третьем чтении, в начале июля одобрен Советом Федерации Федерального Собрания, а 11 июля подписан Президентом Российской Федерации. Несколько дней спустя №190-ФЗ был опубликован и вступил в силу.

Характеризуя этап рассмотрения законопроекта в Федеральном Собрании, в целом следует отметить, что он потребовал значимых усилий и длительного времени. Конструктивное рассмотрение законопроекта могло бы не состояться без постоянных усилий руководителей и специалистов Госкорпорации «Росатом», в том числе заместителей генерального директора Т.Л. Ельфимовой, Е.В. Евстратова, советника генерального директора Н.А. Мартыянова, представителей группы разработчиков законопроекта И.И. Линге, Ю.Д. Полякова, А.С. Иорданова. Глубоко позитивную роль при рассмотрении законопроекта сыграли руководитель Главного государственного правового управления Президента России Л.И. Брычева и главный советник Управления О.А. Есенина, курировавшая законопроект. Взвешенно осторожное, но в целом позитивное и заинтересованное отношение к законопроекту проявили руководители профильных — природоохранных — комитетов Государственной Думы и Совета Федерации Н.В. Комарова, Е.А. Туголуков и В.П. Орлов, представители комитетов по энергетике и экономике К.Б. Зайцев, Н.В. Косарев. К сожалению, активное и заинтересованное участие в деятельности рабочей группы Государственной Думы представителей фракций КПРФ и ЛДПР депутатов В.С. Романова и В.С. Селезнева не получило отражение в позиции представляемых ими фракций, которые не поддержали законопроект. Детальное и открытое обсуждение законопроекта с представителями фракции «Справедливая Россия» так и не состоялось. На всех этапах прохождения законопроекта специалисты Аппарата Государственной Думы и Совета Федерации обеспечивали чрезвычайно оперативную подготовку необходимых материалов.

Наиболее подробно смысловое содержание положений закона отражено в комментариях [14]. Здесь еще раз кратко скажем об основном замысле закона, в том виде, в котором он был принят, и некоторых вопросах его дальнейшей реализации. Будем исходить из следующих предположений о том, как эти процессы могут быть организованы в последующем:

- функции органа государственного управления в области обращения с РАО возлагаются на Госкорпорацию «Росатом»;
- будут ограничены сроки хранения радиоактивных отходов в организациях, где они образуются;
- оплата захоронения образующихся радиоактивных отходов будет осуществляться по тарифам организациями, в результате деятельности которых такие радиоактивные отходы образуются;
- национальный оператор будет осуществлять безопасное захоронение радиоактивных отходов в экологически безопасных и специально оборудованных для этого пунктах захоронения радиоактивных отходов;
- постепенно будут решаться проблемы с накопленными радиоактивными отходами, и сокращаться число пунктов временного хранения радиоактивных отходов.

Законом предусмотрено введение ряда новых и уточнение существующих терминов и понятий. Рассмотрим их подробнее. **Ограничение сроков и объемов (далее лимитов) промежуточного хранения** — устанавливаемые органом государственного управления в области обращения с радиоактивными отходами (Госкорпорация «Росатом»). Действие лимитов промежуточного хранения РАО означает, что организа-

ция не может хранить некондиционированные РАО определенной категории в объеме и в течение времени, превышающими установленные лимитами промежуточного хранения. Для организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты, лимиты промежуточного хранения устанавливаются индивидуально для каждой организации органом государственного управления в области обращения РАО. Лимиты промежуточного хранения утверждаются для каждой категории РАО исходя из имеющихся в организации пунктов хранения РАО, их вместимости, степени заполнения. При готовности пунктов захоронения к приему РАО лимиты могут пересматриваться в сторону сокращения. Для высокоактивных РАО лимиты по времени могут быть достаточно продолжительными. Для низко- и среднеактивных РАО на начальном этапе они могут составлять 5–10 лет, а в последующем сократятся до 3–5 лет. Для прочих организаций законопроектom установлен единый лимит промежуточного хранения РАО — 5 лет. Таким образом, лимиты станут основным механизмом управления потоками РАО, направляемыми на захоронение.

Для каждой организации будут устанавливаться два ограничения по каждой категории РАО:

- V — максимальный объем РАО данной категории, которые могут находиться в организации (с учетом накопленных) в состоянии, не соответствующем критериям приемлемости;
- T — предельный срок с момента образования РАО (для вновь образующихся РАО), в течение которого образованные РАО должны быть кондиционированы.

Для соблюдения лимитов организация может, в том числе, осуществлять кондиционирование ранее накопленных РАО, если это технологически и экономически является более оправданным.

**Критерии приемлемости РАО** для их захоронения (далее также — критерии приемлемости) — обязательные для исполнения требования к физико-химическим свойствам радиоактивных отходов и упаковкам радиоактивных отходов, устанавливаемые в целях безопасного захоронения радиоактивных отходов.

Ключевым в системе обращения с РАО является требование по приведению РАО в соответствие с критериями приемлемости и выполнение этого требования организациями. Критерии приемлемости РАО для захоронения устанавливаются для каждого пункта захоронения РАО и обосновываются в проекте пункта захоронения. Отсутствие в настоящее время пунктов захоронения и, как следствие, критериев приемлемости РАО для захоронения не позволяет предприятиям немедленно начать работы по переработке и кондиционированию всех типов вновь образующихся РАО. В то же время уже сейчас можно ориентироваться на рекомендации РБ-023-02 «Рекомендации по установлению критериев приемлемости кондиционированных радиоактивных отходов для их хранения и захоронения» и требования, установленные в НП-019–2000 «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности» и НП-020–2000 «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование твердых радиоактивных отходов. Требования безопасности». Законом предусмотрено, что ФНП «Критерии приемлемости РАО для захоронения» должны быть приняты. Предполагается, что данный документ будет содержать не только порядок установления критериев приемлемости, но и, по возможности, установит рамочные значения количественных характеристик критериев приемлемости.

При разработке критериев приемлемости для конкретных пунктов захоронения, а также в указанных ФНП должна быть максимально учтена существующая практика переработки и кондиционирования РАО в организациях, а также линейка используемых контейнеров. Также следует иметь в виду, что переход к обязательному захоронению РАО смягчает требования, предъявляемые к упаковке РАО. Принятие ФНП «Критерии приемлемости РАО для захоронения» еще до появления пунктов захоронения позволит организации в краткие сроки осуществить планирование деятельности по переработке и кондиционированию РАО, определив необходимые технологии переработки, линейку упаковок РАО, специализированные организации, предоставляющие такие услуги, а также ориентировать практическое обращение с РАО на приведение РАО в соответствие с критериями приемлемости.

**Прогнозные объемы образования РАО.** В соответствии с законом орган государственного управления в области обращения с РАО утверждает прогнозные объемы образования РАО для организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты. Прогнозные объемы образования РАО будут использоваться для контроля соблюдения лимитов и определения размера отчислений в специальный резервный фонд финансирования расходов на захоронение РАО.

Одновременно они станут основой для планирования деятельности национального оператора, включая темпы строительства и вместимости пунктов захоронения РАО.

Утверждению подлежат объемы образующихся (размещаемых на хранение) РАО и объемы этих же РАО, приведенных в соответствие с критериями приемлемости для захоронения. Законом предусмотрено, что прогнозные объемы образования РАО будут утверждаться для каждой категории РАО с учетом объема фактического образования РАО в предыдущем году.

Закон создает возможность для гибкого учета несоответствий между прогнозными и фактическими объемами передаваемых на захоронение РАО. Эти несоответствия неизбежны на начальном этапе функционирования ЕГС РАО. С учетом возможного совершенства технологий переработки и кондиционирования РАО утверждаемые значения могут регулярно пересматриваться.

Планируя деятельность по переработке и кондиционированию РАО и их передаче национальному оператору, необходимо иметь в виду действие лимитов промежуточного хранения РАО, которые ограничивают объемы некондиционированных РАО, находящихся в пунктах хранения.

**Первичная регистрация РАО и мест их размещения.** В соответствии с законом проводится первичная регистрация накопленных РАО, то есть РАО, образовавшихся до дня вступления в силу №190-ФЗ, и мест их размещения. Это необходимо для фиксации объемов и характеристик имеющихся РАО, пунктов хранения и внесения соответствующих сведений в реестр и кадастр РАО. Первичная регистрация РАО и мест их размещения проводится в порядке и сроки, определенные Правительством Российской Федерации.

**Пункты хранения** ядерных материалов и радиоактивных веществ, пункты хранения (хранилища) радиоактивных отходов (далее — пункты хранения) — стационарные объекты и сооружения, не относящиеся к ядерным установкам и радиационным источникам и предназначенные для хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранения или захоронения радиоактивных отходов.

Это понятие зафиксировано в Федеральном законе «Об использовании атомной энергии», а обращение с РАО является видом деятельности в области использования атомной энергии.

В соответствии с законом определяются следующие типы пунктов хранения РАО:

- пункты долговременного хранения РАО;
- пункты временного хранения РАО;
- пункты захоронения РАО;
- пункты размещения особых РАО;
- пункты консервации особых РАО.

Отнесение имеющихся у организаций пунктов хранения к тому или иному типу будет осуществлено при проведении первичной регистрации радиоактивных отходов и мест их размещения.

**Пункт долговременного хранения радиоактивных отходов** — пункт хранения радиоактивных отходов, срок эксплуатации которого определен проектом, но порядок и меры по выводу из эксплуатации которого не предусмотрены.

**Пункт временного хранения радиоактивных отходов** — пункт хранения удаляемых радиоактивных отходов, проектом которого определен срок эксплуатации и предусмотрены порядок и меры по выводу из эксплуатации.

**Пункт захоронения радиоактивных отходов** — пункт хранения радиоактивных отходов, предназначенный для размещения радиоактивных отходов без намерения их последующего извлечения, обеспечивающий радиационную безопасность работников такого пункта, населения и окружающей среды в течение периода потенциальной опасности радиоактивных отходов.

Закон выделяет два типа пунктов захоронения: пункты приповерхностного захоронения, пункты глубинного захоронения:

- пункт приповерхностного захоронения радиоактивных отходов — пункт захоронения радиоактивных отходов, включающий сооружение, размещенное на одном уровне с поверхностью земли или на глубине до ста метров ниже уровня поверхности земли;
- пункт глубинного захоронения радиоактивных отходов — пункт захоронения радиоактивных отходов, включающий сооружение, размещенное на глубине более ста метров.

**Пункт размещения особых радиоактивных отходов** — природный объект или объект техногенного происхождения, содержащий особые радиоактивные отходы, не изолированные от окружающей среды, или объект, содержащий особые радиоактивные отходы, срок изоляции которых от окружающей среды не установлен.

**Пункт консервации особых радиоактивных отходов** — природный объект или объект техногенного происхождения, в котором содержатся особые радиоактивные отходы, имеются барьеры для обеспечения безопасности, обеспечивающие изоляцию радиоактивных отходов от окружающей среды в течение срока эксплуатации указанного объекта, определенного соответствующим проектом.

**Участники ЕГС РАО.** Ключевыми участниками единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами являются организации, в результате деятельности которых образуются РАО, специализированные организации по обращению с РАО, национальный оператор по обращению с РАО, орган государственного управления в области обращения с РАО.

Организации, в результате деятельности которых образуются РАО — закон распространяется на все организации, деятельность которых приводит к образованию РАО, вне зависимости от объемов образующихся РАО. Закон, задавая правовые рамки ЕГС РАО, накладывает новые обязательства на такие организации. Такими основными обязательствами являются:



- соблюдение установленных лимитов промежуточного хранения РАО;
- приведение РАО в соответствие с критериями приемлемости для захоронения;
- обязательная передача РАО на захоронение национальному оператору;
- финансовая ответственность за полный цикл обращения с РАО, включая захоронение РАО.

Некоторые отличия при выполнении указанных требований определяются тем, относится ли организация к эксплуатирующим особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты или нет. В первом случае для организации будут устанавливаться индивидуальные лимиты промежуточного хранения РАО, а оплата захоронения РАО осуществляется путем регулярных отчислений в специальный резервный фонд финансирования расходов на захоронение РАО в зависимости от прогнозных объемов образования РАО. Во втором случае для всех организаций, не относящихся к эксплуатирующим особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты, установлен единый лимит промежуточного хранения РАО — 5 лет, а оплата захоронения РАО осуществляется путем разовых платежей при передаче РАО национальному оператору. Размеры платежей устанавливаются на основе тарифов с учетом объемов и категорий передаваемых РАО.

Специализированная организация по обращению с радиоактивными отходами (далее — специализированная организация) — юридическое лицо, выполняющее работы и предоставляющее услуги по сбору, сортировке, переработке, кондиционированию, перевозке, хранению радиоактивных отходов, эксплуатации, выводу из эксплуатации или закрытию пунктов хранения радиоактивных отходов.

Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами (далее национальный оператор) — юридическое лицо, уполномоченное осуществлять деятельность по захоронению радиоактивных отходов и иные виды деятельности по обращению с радиоактивными отходами.

Национальный оператор уполномочен на сооружение пунктов захоронения РАО, их эксплуатацию и обращение с принятыми на захоронение РАО. Эти полномочия национального оператора предусмотрены законом.

В соответствии с законом организация, на которую возлагаются полномочия и функции национального оператора, определяется решением Правительства Российской Федерации.

Орган государственного управления в области обращения с РАО. Органом государственного управления в области обращения с РАО является Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». Основными полномочиями органа государственного управления в области обращения с радиоактивными отходами в отношении организаций, в результате деятельности которых образуются РАО, являются:

- утверждение прогнозных объемов образования РАО для организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты (для определения размера отчислений средств в специальный резервный фонд финансирования расходов на захоронение РАО);
- осуществление учета поступления средств в специальный резерв от организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты, и объемов РАО, переданных ими на захоронение;
- утверждение лимитов промежуточного хранения РАО для организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты.



**Классификация РАО.** Основой для практики обращения с РАО служит классификация РАО. Совершенствование существующей классификации РАО является приоритетной задачей, решение которой позволит оптимизировать схемы по обращению с РАО, а также связанные с этим издержки. Для этого законом предусмотрено расширение классификации РАО, что предполагает:

- выделение видов РАО — удаляемые РАО и особые (неудаляемые) РАО;
- классификацию удаляемых РАО для целей их захоронения.

**Удаляемые радиоактивные отходы** — радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, и иные риски, а также затраты, связанные с их извлечением из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, не превышают риски и затраты, связанные с их захоронением в месте нахождения.

**Особые радиоактивные отходы** — радиоактивные отходы, для которых риски, связанные с радиационным воздействием, и иные риски, а также затраты, связанные с их извлечением из пункта хранения радиоактивных отходов, последующим обращением с ними, в том числе захоронением, превышают риски и затраты, связанные с их захоронением в месте нахождения.

Деление РАО на удаляемые и особые РАО является определяющим для разработки мероприятий по обращению с ними. Для удаляемых РАО такими мероприятиями являются извлечение РАО из мест их текущего размещения в целях переработки, кондиционирования и последующего захоронения, а для особых РАО — технические мероприятия по укреплению барьеров безопасности. При этом закон запрещает в будущем сооружение промышленных объектов и создание технологий, заведомо приводящих к образованию особых радиоактивных отходов.

Законом предусмотрено введение классификации удаляемых РАО для целей их захоронения. Удаляемые радиоактивные отходы для целей их захоронения классифицируются по следующим признакам:

- в зависимости от периода полураспада содержащихся в радиоактивных отходах радионуклидов — долгоживущие радиоактивные отходы, короткоживущие радиоактивные отходы;
- в зависимости от удельной активности — высокоактивные радиоактивные отходы, среднеактивные радиоактивные отходы, низкоактивные радиоактивные отходы, очень низкоактивные радиоактивные отходы;
- в зависимости от агрегатного состояния — жидкие радиоактивные отходы, твердые радиоактивные отходы, газообразные радиоактивные отходы;
- в зависимости от содержания ядерных материалов — содержащие ядерные материалы, не содержащие ядерных материалов;
- отработавшие закрытые источники ионизирующего излучения;
- образовавшиеся при добыче и переработке урановых руд;
- образовавшиеся при осуществлении не связанных с использованием атомной энергии видов деятельности по добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов.

Такая классификация должна стать основной с точки зрения определения способа захоронения РАО. Законом предусмотрены рамочные особенности захоронения различных категорий РАО.

**Собственность на РАО и пункты хранения.** Согласно ст. 9 закона радиоактивные отходы, содержащие ядерные материалы, которые могут находиться исключительно в федеральной собственности, а также образовавшиеся до дня вступления в силу фе-

дерального закона иные радиоактивные отходы, находятся в федеральной собственности. Это базовое положение соответствует Объединенной конвенции, согласно которой конечная ответственность за обеспечение безопасности обращения с РАО лежит на государстве. Закон призван, в том числе, решить проблему обращения с огромным количеством накопленных РАО. Государство признает себя собственником всех отходов, накопленных в Российской Федерации. Рассмотренная норма является одной из определяющих для всего законодательства в области обращения с РАО. Эта норма не означает, что государство принимает на себя полную ответственность за безопасность обращения с ними, снимая ее с организаций, на чьем балансе такие отходы находятся, она означает, что государством будут реализовываться меры по обеспечению безопасного обращения с ними, как это делается сейчас в рамках ФЦП ЯРБ.

Согласно той же ст. 9 закона радиоактивные отходы, образовавшиеся со дня вступления в силу федерального закона (за исключением радиоактивных отходов, содержащих ядерные материалы, которые могут находиться исключительно в федеральной собственности), находятся в собственности организации, в результате деятельности которой они образовались.

С закреплением РАО в собственности указанных организаций-производителей РАО напрямую связаны последующие нормы закона об их ответственности за обеспечение безопасности при обращении с РАО и соответствующих обязанностях, включая обязанности по осуществлению оплаты захоронения РАО (ст. 21). К организациям-собственникам РАО, также как и к федеральному собственнику, обращена норма, изложенная в ч. 5 статьи, согласно которой собственники РАО несут ответственность за безопасное обращение с ними. Это положение, в полной мере относящееся также и к собственникам пунктов хранения РАО, соответствует требованиям ст. 210 ГК РФ, согласно которым собственник несет бремя (обязанности) содержания принадлежащего ему имущества.

Согласно части 2 ст. 9 закона пункты захоронения радиоактивных отходов могут находиться в федеральной собственности или в собственности Госкорпорации по атомной энергии «Росатом». Таким образом, никакое другое юридическое лицо, кроме Российской Федерации и Госкорпорации «Росатом» не может иметь в собственности указанные пункты захоронения РАО. В том случае, если у какого-либо юридического лица после вступления федерального закона в силу оказался в собственности пункт захоронения РАО, наступают последствия, предусмотренные ст. 40 закона. При этом пункты долговременного хранения радиоактивных отходов, пункты временно-го хранения радиоактивных отходов, пункты размещения особых радиоактивных отходов и пункты консервации особых радиоактивных отходов могут находиться в федеральной собственности или в собственности российских юридических лиц.

Завершая описание процесса формирования законодательных основ в области обращения с РАО, отметим, что эффективность будущей системы обращения с РАО оказалось крайне критичной к содержанию подзаконных актов. В этом смысле современная ситуация уже несколько отличается от прогнозной. Эти вопросы будут рассмотрены в следующем разделе.

#### **3.4. Концепция ускоренного формирования единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами**

В 2009 году одновременно с завершением согласования текста законопроекта были разработаны концепции нормативных правовых актов Правительства Российской

Федерации по реализации положений законопроекта, даны предварительные оценки удельной стоимости строительства пунктов захоронения РАО, получены оценки стоимости полного жизненного цикла РАО на основе технологических карт по обращению с различными типами РАО.

В рамках ФГУП «РосРАО» были консолидированы объекты инфраструктуры, считавшиеся необходимыми для формирования национального оператора по обращению с РАО. Был проведен анализ данных по более чем 700 пунктам размещения радиоактивных отходов, находящимся на территории более 140 организаций Российской Федерации, получены оценки по возможности и целесообразности удаления части накопленных РАО, выявлены перспективные места для обоснования размещения пунктов захоронения в Северо-Западном и Приволжском федеральных округах.

Также была установлена необходимость модернизации системы учета РАО и предложены показатели для управления обращением с РАО. Подготовлен пакет документации для проведения общероссийской первичной регистрации РАО и пунктов их размещения; апробирована соответствующая методика первичной регистрации. Обеспечено позитивное восприятие изменения политики Российской Федерации в области обращения с РАО со стороны международных организаций и общественности.

Таким образом, к началу 2010 года были сформированы все базовые предпосылки для разработки скоординированной программы действий по ускоренному созданию единой государственной системы обращения с РАО:

- собрана информация по всем накопленным и вновь образующимся РАО и существующей практике обращении с ними;
- подготовлен законопроект «Об обращении с радиоактивными отходами» и изложение первоочередных актов Правительства Российской Федерации, необходимых к принятию для его реализации;
- даны оценки затратности существующей практики обращения с РАО и сформированы экономические стимулы для ее модернизации;
- реализованы меры по подготовке к синхронизации деятельности по созданию ЕГС РАО и деятельности наиболее крупных организаций отрасли;
- получено понимание нарастания рисков в области обеспечения безопасности обращения с накопленными РАО.

Указанные предпосылки позволили разработать концепцию и программу создания единой государственной системы обращения с РАО, которая была утверждена приказом Госкорпорации «Росатом» от 29.06.2010 г. № 01/62-П.

Программа предусматривала три направления деятельности:

1. Создание системы управления, правового, научно-технического и финансового обеспечения создания и функционирования ЕГС РАО.
2. Ускоренная адаптация организаций отрасли к требованиям ЕГС РАО.
3. Создание и модернизация объектов инфраструктуры ЕГС РАО.

Принципы формирования программы были ориентированы именно на ускоренное развитие. Среди них:

- последовательная реализация мероприятий осуществляется только в тех случаях, когда их параллельная реализация невозможна;
- масштабирование работ осуществляется только после получения референтных технологий и решений, апробированных на пилотных проектах;
- деятельность организаций синхронизируется и оптимизируется путем согласования локальных стратегий с развитием ЕГС РАО и использования трех базовых стратегий (трансформация схем обращения, легализация захоронения,

- индивидуальные решения для организаций с большими объемами накопленных отходов);
- учет и достижение необходимого уровня координации всех мероприятий в области обращения с РАО (реализуемых в рамках ФЦП ЯРБ, других программ, инвестиционных программ организаций и иных источников финансирования);
- выделение и обеспечение финансирования общекорпоративных работ из нового (для обращения с РАО) источника финансирования (резервы или специальный резервный фонд Госкорпорации «Росатом»).

Программа ориентирована на достижение промежуточного (2012 г.) и конечного (2015 г.) целевых состояний. К декабрю 2012 года планировалось следующее целевое состояние системы обращения с РАО:

- вступивший в силу Федеральный закон «Об обращении с радиоактивными отходами»;
- вступившие в силу основные решения Правительства Российской Федерации, обеспечивающие функционирование ЕГС РАО (6 шт.);
- вступившие в силу основные решения:
  - уполномоченных федеральных органов исполнительной власти (7);
  - органа государственного управления в области обращения с радиоактивными отходами (4);
- созданная система управления и научно-технического обеспечения ЕГС РАО (проектный офис «Создание системы обращения с РАО» в составе Дирекции ЯРБ, Комиссия по инвестициям в развитие ЕГС РАО, национальный оператор, аккредитованные специализированные организации, базовые научные организации по созданию ЕГС РАО, определенные приказом Госкорпорации «Росатом», а также существующая система договоров между ними);
- определенные для производителей РАО лимиты хранения РАО и тарифы на прием РАО на захоронение;
- поступление в специальные резервные фонды Госкорпорации «Росатом» средств организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты, в части финансирования обращения с РАО в объеме не менее 2 млрд. рублей;
- генеральная схема размещения пунктов захоронения РАО и перечень объектов инфраструктуры ЕГС РАО, утвержденные Госкорпорацией «Росатом»;
- принятые решения по прекращению воспроизводства старой инфраструктуры, ориентированной на хранение РАО в организациях в течение всего времени их существования;
- проведенная первичная регистрация РАО, сформированные реестр РАО и кадастр пунктов хранения РАО;
- утвержденные и действующие в организациях отрасли локальные стратегии обращения с РАО (25);
- решения, обосновывающие выбор двух площадок пунктов захоронения РАО, а также положительные результаты общественных слушаний по этим площадкам.

К сожалению, значительной части этих целей достичь не удалось. Основная причина — задержки с принятием закона. При разработке программой предусматривалось, что он будет принят в 2010 году, а формирование новых элементов финансового обеспечения функционирования ЕГС РАО потребует 1–2 года после вступле-



ния в силу Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами». Тем не менее, значимый объем подготовительных работ в рамках реализации программы был выполнен.

### **3.5. Проблемы трансформации системы обращения с РАО в организациях и стране в целом**

Создание ЕГС РАО требует глубоких изменений на всех этапах обращения с РАО. Понимание сложности и болезненности этого процесса позволило планировать ряд упреждающих мероприятий, в том числе заблаговременную разработку и последующее уточнение локальных стратегий по обращению с РАО. В 2010 году были подготовлены соответствующие «Методические рекомендации» (разработчики Проектный офис «Создание системы обращения с РАО» ГК «Росатом», ФГУП «Предприятие по обращению с радиоактивными отходами «РосРАО», ИБРАЭ РАН, ОАО «ВНИПИ промышленной технологии»). В них указывалось, что программой предусмотрена разработка локальных стратегий обращения с РАО во всех организациях отрасли к 2013 году. Этому должна была предшествовать реализация пилотных проектов по разработке локальных стратегий в организациях, в т. ч. на НВАЭС и ЛАЭС, ФГУП «ПО «Маяк», ГНЦ «ФЭИ», ФГУП «ГХК», в нескольких организациях корпорации ТВЭЛ, включая ОАО «СХК».

Локальные стратегии обращения с РАО организаций должны были явиться ключевым элементом ускоренной адаптации организаций отрасли к требованиям ЕГС РАО и базой для корпоративного планирования в области обращения с РАО, в том числе выработки технической политики. Они должны были быть направлены на достижение состояния, характеризующегося комплексным решением проблем безопасного обращения с радиоактивными отходами на предприятии.

Цели и задачи локальных стратегий в тот период представлялись следующими.

Целями локальной стратегии организации являются:

1. Фиксация общего замысла реорганизации системы обращения с РАО в организации для приведения ее в соответствие с требованиями и принципами ЕГС РАО.
2. Подготовка исходных данных для установления прогнозных объемов образования РАО и лимитов промежуточного хранения РАО (объемы и сроки) на площадке организации.
3. Подготовка исходных данных для формирования единой корпоративной технологической политики.
4. Обеспечение экономической эффективности обращения с РАО и снижение издержек переходного периода.
5. Планирование деятельности по обращению с накопленными РАО.

Локальная стратегия обращения с РАО должна максимально учитывать особенности существующей в организации схемы обращения с РАО, устанавливая временные, технологические и экономические параметры для ее трансформации в целях приведения в соответствие с новыми требованиями, а также обеспечивать возможность общекорпоративного планирования деятельности по обращению с РАО и масштабирования перспективных технологий и решений.

Локальная стратегия обращения с РАО разрабатывается организацией в целом или ее дочерним обществом или обособленным филиалом. В первом случае в целях конкретизации региона приема РАО на захоронение в локальной стратегии должны быть представлены данные и по обособленным (в разрезе федеральных округов) филиалам.



Локальная стратегия согласуется с национальным оператором по обращению с РАО в части обязательств по приему РАО на захоронение. Представляемый на согласование проект локальной стратегии должен соответствовать действующей редакции «Методических рекомендаций». После согласования с национальным оператором локальная стратегия представляется на согласование в проектный офис «Создание системы обращения с РАО» и утверждается Дирекцией ЯРБ Госкорпорации «Росатом».

- Локальная стратегия организации должна:
  - фиксировать схему обращения с РАО в организации, существующую на момент ее разработки;
  - содержать данные о текущих и прогнозируемых объемах образования РАО с учетом перспектив деятельности организации и мер по снижению образования РАО;
  - содержать последовательный план и конкретные мероприятия по трансформации схемы обращения с РАО для приведения в соответствие с требованиями и принципами ЕГС РАО;
  - содержать предложения и обязательства организации в отношении лимитов промежуточного хранения, сроков передачи кондиционированных РАО, перспектив использования имеющихся и планируемых установок, объектов и площадки организации для целей ЕГС РАО;
  - фиксировать целевое состояние схемы обращения с РАО;
  - содержать предложения по организации обращения с накопленными РАО.

В рекомендациях изложены основные принципы функционирования ЕГС РАО и указаны необходимые требования к разработке локальных стратегий. Локальные стратегии должны предусматривать:

- необходимость соблюдения установленных лимитов промежуточного хранения;
- необходимость приведения РАО в соответствие с критериями приемлемости;
- минимизацию образования РАО и (или) издержек на обращения с РАО с учетом цены их захоронения;
- учет затрат на обращение с РАО в себестоимости продукции.
- Локальные стратегии могут предусматривать:
  - создание автономной системы обращения с РАО, обеспечивающей приведение всех образующихся в организации РАО в соответствие с критериями приемлемости;
  - заказ услуг по переработке, кондиционированию, транспортированию и временному хранению РАО у специализированной организации;
  - оказание услуг по переработке, кондиционированию и транспортированию РАО сторонним организациям.
- Локальные стратегии должны учитывать следующие условия:
  - захоронение РАО становится монопольной деятельностью национального оператора;
  - для принятия органом государственного управления в области обращения с РАО сбалансированных решений прогнозные объемы образования РАО и лимиты промежуточного хранения РАО необходимо четко обосновывать;
  - имеющиеся в организации пункты захоронения РАО должны быть отчуждены;
  - образующиеся РАО, которые ранее размещались в имеющихся в организации пунктах захоронения, должны в дальнейшем передаваться на захоронение национальному оператору с оплатой услуг по захоронению.

Локальные стратегии должны определять намерения относительно типов имеющих в организации пунктов хранения и предусматривать необходимые меры для последующего юридического закрепления их статуса в рамках первичной регистрации. Существующая структура пунктов хранения РАО в дальнейшем подлежит трансформации.

В рекомендациях по разработке локальных стратегий также рассмотрены варианты обращения с отдельными видами РАО. Одним из критериев достижения целевого состояния является выход на кондиционирование всех вновь образующихся РАО. Однако обращение с отдельными РАО может осуществляться по специальным схемам.

**Обращение с ЖРО.** Предусматривается изучение возможности захоронения ЖРО на существующих полигонах закачки не только тех организаций, на территории которых находятся соответствующие полигоны, но и иных организаций. На сегодняшний день масштабная реализация захоронения ЖРО в полигонах закачки не представляется возможной в перспективе более 10–20 лет. Поэтому организации в первую очередь должны ориентироваться на отверждение ЖРО и приведение их в соответствие с критериями приемлемости.

**Обращение с крупногабаритными ТРО.** При планировании обращения с крупногабаритными ТРО необходимо учитывать, что их разделка до состояния, соответствующего критериям приемлемости, не всегда экономически обоснована. В этой ситуации типовой схемой обращения с такими РАО является их хранение в организации под наблюдением в течение длительного времени. Последующее обращение с такими РАО будет основываться на вариантах захоронения без разделки или их переработки.

**Обращение с ОНРАО.** При планировании обращения с ОНРАО может быть принята стратегия хранения таких РАО организацией на своей промплощадке до вывода РАО из-под регулирующего контроля. Предлагаемая стратегия может быть принята, если время вывода этих ОНРАО из-под регулирующего контроля не превышает времени полного завершения вывода из эксплуатации объекта использования атомной энергии, в результате функционирования которого они образовались.

В рекомендациях указано, что переход к практике обязательного захоронения РАО потребует от организаций изменения структуры затрат на обращение с РАО. В отношении вновь образующихся РАО закон предусматривает финансирование организацией, в результате деятельности которой образовались РАО, полного цикла обращения с РАО. Так появляются новые обязательные этапы обращения с РАО, направленные на приведение РАО в соответствие с критериями приемлемости. Это проиллюстрировано в табл. 3.5.1.

Таким образом, в целевом состоянии расходы (издержки) на обращение с РАО включают четыре базовых составляющих:

- **Оплата захоронения.** Тарифы на захоронение РАО устанавливаются на единицу объема РАО (с учетом контейнера), приведенных в соответствие с критериями приемлемости, для каждой категории РАО. Тариф на захоронение РАО будет учитывать все затраты национального оператора, связанные с захоронением РАО. В соответствии с законопроектом тарифы на захоронение радиоактивных отходов устанавливаются уполномоченным федеральным органом исполнительной власти. Предложения по тарифам на захоронение радиоактивных отходов будет готовить орган государственного управления в области обращения с РАО (Госкорпорация «Росатом»), а утверждать, вероятнее всего, федеральная служба по тарифам (должно быть решение Правительства). Законопроектом предусмотрено, что

Таблица 3.5.1

**Обязательные этапы обращения с РАО**

Этапы обращения с РАО	Текущая практика	Практика целевого состояния
Сбор	Да	Да
Сортировка	Да	По усмотрению
Переработка	По усмотрению	По усмотрению
Приведение в соответствие с критериями приемлемости (кондиционирование и затаривание)	Нет	Да
Хранение	Да	Ограничено лимитами промежуточного хранения
Транспортирование	Частично	Да
Передача на захоронение	Нет	На

оплата захоронения РАО осуществляется путем ежеквартальных отчислений организаций в специальный резервный фонд финансирования расходов на захоронение РАО Госкорпорации «Росатом» — специально создаваемый фонд, средства которого будут расходоваться исключительно на деятельность по захоронению РАО (создание пунктов захоронения РАО и размещение РАО, переданных национальному оператору, в пунктах захоронения).

В качестве ориентиров для тарифов на захоронение указывались такие значения: для захоронения в пункте захоронения глубинного типа 1–1,2 млн. руб.; для поверхностных — 150–200 тыс. руб., ОНРАО — 10–30 тыс. руб., для закачки — 1 тыс. руб.; для отходов, образовавшихся при добыче и переработке урановых руд, — 0,1–0,3 тыс. руб. за кубический метр.

Тарифы на захоронение являются едиными для всех организаций, поэтому локальные стратегии должны быть направлены на минимизацию образования РАО и максимально возможное разделение РАО по категориям как по удельной активности, так и по периоду полураспада.

- **Расходы на транспортирование в место приема РАО национальным оператором.** Размер расходов на транспортирование РАО незначителен в суммарных расходах на обращение с РАО и определяется расстоянием до пункта захоронения. Логистика обращения с кондиционированными РАО будет строиться с учетом минимизации транспортных затрат организаций. При этом следует принять во внимание, что количество пунктов захоронения будет ограничено, а расстояние до ближайшего пункта захоронения может составлять сотни километров.
- **Расходы на упаковки для захоронения.** В зависимости от используемых контейнеров расходы на упаковку для захоронения могут оказаться значительными и сопоставимыми с затратами на захоронение. Так, например, цена контейнера НЗК производства ОАО «345 механический завод» составляет около 75 тыс. руб. При этом полезный объем данного контейнера — 1,5 кубометра, а 2,2 кубометра — объем собственно упаковки, который должен быть также оплачен по тарифу размещения на захоронение НАО или САО. Затраты, связанные с упаковкой РАО, могут быть снижены оптимальным выбором контейнеров. Программой предус-

мотрены мероприятия по определению унифицированной линейки перспективных упаковок для транспортирования и захоронения РАО.

- **Расходы на переработку РАО, приведение их в соответствие с критериями приемлемости и промежуточное хранение.** Деятельность по переработке образующихся РАО, приведению их в соответствие с критериями приемлемости и промежуточному хранению осуществляется за счет собственных средств организаций. Для некоторых категорий РАО (например, очень низкоактивные отходы, отходы, образующиеся при добыче и переработке урановых руд, короткоживущие РАО, подлежащие выдержке до их исключения из категории РАО) некоторые стадии обращения могут отсутствовать. Поэтому разделение образующихся РАО в зависимости от схем обращения с ними является основой для снижения этой составляющей затрат на обращение с РАО. Затраты на промежуточное хранение определяются технико-экономическими показателями имеющихся в организации пунктов хранения. Затраты на переработку и кондиционирование РАО определяются технико-экономическими показателями собственных установок по переработке РАО или рынком услуг по переработке и кондиционированию РАО.

Закон, устанавливая процедуру определения лимитов промежуточного хранения, позволяет организации варьировать объемы и сроки переработки РАО, а также объемы и сроки хранения РАО в целях оптимизации затрат на обращение с РАО.

В качестве главного рецепта оптимизации затрат на обращение с РАО локальные стратегии должны предусматривать:

- минимизацию образования РАО;
- максимально возможное разделение РАО по категориям;
- использование адекватной линейки упаковок РАО.

### 3.6. Организация по захоронению РАО

Создание отдельной организации по захоронению РАО полностью соответствует духу Объединенной конвенции и рекомендациям МАГАТЭ, которые ориентированы на четкое разделение обязанностей и ответственности между организациями, в результате деятельности которых РАО образуются, органами регулирования безопасности и специально создаваемой организацией по управлению РАО.

Как и в других случаях по мере проработки вопроса об организации по захоронению РАО (национальном операторе) происходила эволюция идей. В рамках ранее упомянутой «Дорожной карты создания ЕГС РАО», в основном подготовленной к лету 2008 года, перспективы создания связывались с ФГУП «РосРАО». Предпосылками для этого являлись:

1. Широкая география размещения.
2. Кадровый потенциал и опыт взаимодействия с производителями РАО.
3. Наличие на ряде предприятий комплекса технологий, оборудования и средств приема, транспортирования, переработки и кондиционирования РАО.
4. Наличие на площадках значимых объемов накопленных РАО.
5. Наличие свободных объемов хранилищ, а также вновь строящихся и реконструируемых хранилищ.
6. Наличие на ряде предприятий возможностей для создания объектов окончательной изоляции РАО.
7. Наличие правовых оснований для приема РАО от сторонних организаций-производителей.

В период 2009—2010 годов планировалось выполнить работы по определению вариантов развития площадок, включая:

1. Трансформирование объектов инфраструктуры (строительство или реконструкция) в объекты долговременного хранения или окончательной изоляции с последующей передачей национальному оператору (при наличии геологических возможностей).
2. Создание центров по обращению с РАО (специализированная организация), переработке и временному хранению с установлением срока передачи РАО национальному оператору.
3. Вывод из эксплуатации радиационно опасных объектов и перепрофилирование площадок.

По завершении этой работы планировалось рассмотреть вопрос о реорганизации ФГУП «РосРАО» путем его разделения на Национального оператора по обращению с РАО (учреждение Госкорпорации «Росатом») и Специализированную организацию (ОАО) по обращению с РАО.

Со временем взгляд на ФГУП «РосРАО» как на единственного кандидата на роль национального оператора стал претерпевать изменения. Главным образом по причине того, что вопрос о национальном операторе стал рассматриваться более комплексно. В круг рассмотрения стали входить вопросы наличия потенциала и различного рода обременения, возможность обособления финансовой деятельности по функционалу национального оператора, отношение к собственности, в том числе находящейся в собственности Российской Федерации и Госкорпорации «Росатом», то есть и по организационно-правовым формам. Звучали предложения по вариантам с выделением из ОАО «Топливная компания ТВЭЛ» ряда площадок с объектами захоронения РАО, образовавшихся при переработке уранового сырья. Или на основе активов Росэнергоатома, в распоряжении которого тоже есть хорошие и современные площадки для хранения отходов, опытные кадры.

Одной из оптимальных представлялась модель, при которой будет создан консорциум, в который будут переданы не только необходимые активы по обращению с РАО, но и будут созданы инструменты для постоянного сотрудничества между производителями отходов и оператором по захоронению. В этом плане интересен опыт Швеции, где компания-оператор SKB вообще была создана с нуля. Правда, не кем-то посторонним, а компаниями, эксплуатирующими АЭС. Это позволило контролировать работу оператора и тарифы — чтобы «уложиться» в те деньги, которые отчисляются на захоронение отходов. Конечно, это не единственный контролер, есть и органы регулирования безопасности. Однако в любом случае это должно было быть выверенное решение, задающее благоприятный режим взаимодействия между оператором и организацией, в результате деятельности которой образуются отходы. Важно было взвесить, что даст больший выигрыш: стартовые объекты инфраструктуры и кадры или изначальное формирование нового облика современной организации, ориентированной исключительно на создание крупных современных пунктов захоронения. В этом плане и ФГУП «РосРАО», и идея консорциума проигрывали.

В начале 2012 года Правительство Российской Федерации по предложению органа государственного управления в области обращения с РАО — Госкорпорации «Росатом» — определило национального оператора. Национальным оператором стала новая организация — ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами».



## Заключение

Можно констатировать, что к 2012 году выработка стратегии решения накопленных проблем в области обращения с РАО в Российской Федерации в основном завершена. В том числе:

1. Ратификацией Объединенной конвенции приняты исчерпывающие обязательства, стимулирующие развитие национальной системы обращения с РАО в полном соответствии со стандартами и требованиями МАГАТЭ. Подобное стимулирующее воздействие будет распространяться и на иные аспекты обеспечения ядерной и радиационной безопасности, затрагиваемые Объединенной конвенцией: вопросы обращения с ОЯТ, сбросов и выбросов радионуклидов, вывода из эксплуатации, аварийного реагирования и т.д. Таким образом, Объединенная конвенция обязывает к комплексному решению на национальном уровне широкого круга вопросов, в том числе связанных с обращением с РАО, и предусматривает механизмы международного контроля за состоянием дел в этой области.

2. Намеченные в 2006 году основные направления деятельности в области формирования современной системы обращения с РАО в полной мере реализуются. Они включали три составляющих: реализация организационных мероприятий; планирование и реализация мероприятий по обеспечению безопасности накопленных радиоактивных отходов; совершенствование правовых условий обращения с радиоактивными отходами.

3. В рамках организационных мероприятий в системе управления атомной отраслью сформирован единый орган управления, ответственный за формирование национальной системы обращения с РАО. Разработанная и утвержденная программа создания ЕГС РАО, работа по локальным стратегиям, формирование и структурные преобразования специализированной организации на базе «РосРАО», проработки облика национального оператора, а в конце концов и его создание, сформировали условия для точного понимания функций и задач основных участников ЕГС РАО на ближайшие годы и длительную перспективу. Многие организации отрасли, в том числе все крупные, реализовали мероприятия по оценке состояния систем обращения с РАО и проработке их будущего облика.

4. Разработана, утверждена и ведется реализация ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (далее ФЦП ЯРБ). В рамках этой программы были сделаны первые крупные шаги по решению проблем обращения с накопленными РАО на континентальной части России. Программой предусмотрено ведение работ по более чем 270 объектам, на подавляющем большинстве которых рассматриваются вопросы обращения с РАО. Практическая реализация ФЦП ЯРБ в совокупности с реализацией ФЦП по комплексной утилизации атомных подводных лодок, программами организаций отрасли и проектами международного сотрудничества демонстрируют выраженное снижение рисков в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности (см. главу 4).

5. Вступивший в силу в 2011 году федеральный закон по обращению с радиоактивными отходами стал первым документом законодательного уровня, в котором регламентируются вопросы завершения жизненного цикла образующихся при использовании атомной энергии РАО. Итоговый текст закона в определенной мере оказался перегруженным ссылками на подзаконные акты, что делает перспективы развития ЕГС РАО достаточно зависимыми от содержания некоторых подзаконных актов. Однако это не снижает его значимости. Даже обсуждение возможности принятия такого

закона, перспектив обязательности подготовки РАО к захоронению и оплаты захоронения многократно усилили темпы модернизации систем обращения с РАО на предприятиях. В особенности это касается Концерна «Росэнергоатом», который реализовал масштабную инвестиционную программу в этой области.

6. Реальные темпы формирования новой нормативно-правовой основы работ в области обращения с РАО оказались более низкими, чем изначально планировалось в 2008 году. Тем не менее, существуют все предпосылки для того, чтобы в период до 2020 года ЕГС РАО начала функционировать в режиме приема на захоронение и осуществления захоронения всех категорий, кроме долгоживущих САО и ВАО. Создание и ввод в эксплуатацию пункта захоронения глубинного типа требует более длительных сроков.

7. Рассматривая проблему в целом, следует констатировать, что любые задержки в период 2006–2008 годов могли в корне изменить сегодняшнюю ситуацию. Тогда она могла бы практически ничем не отличаться от ситуации 2005 года. Вследствие экономического кризиса уже в середине 2008 года одобрение Правительством России столь масштабной программы по ядерному наследию было маловероятным. Уже в конце 2008 года инициация законопроекта по обращению с РАО со стороны Госкорпорации «Росатом» также была бы маловероятной. В этот период прогнозировалось существенное снижение объемов производства и выручки предприятий отрасли, что полностью исключало возможность возложения на них значимого и дополнительного финансового бремени, каким является оплата захоронения РАО.

8. Поэтапно сформированное на уровне отрасли понимание необходимости принципиально новых подходов к обращению с РАО, в том числе консолидации деятельности по захоронению РАО себя полностью оправдало. В ходе обсуждения законопроекта по обращению с РАО и подготовки нормативно-правовых актов подтвердилось, что вопросы обращения с РАО остро и напряженно воспринимаются заинтересованными сторонами и обществом в целом, главным образом в связи с ошибочным восприятием РАО как одного из главных источников опасности для здоровья человека и окружающей среды.

9. Накопленные передовые практики обращения с РАО, в том числе захоронения, показывают, что безопасность этой деятельности необходимо постоянно и доказательно подтверждать. Как за рубежом, так и в России, необходимость развития системы обращения с РАО обусловлена не имеющимся уровнем рисков для персонала и населения, обусловленных вновь образующихся РАО. Постоянное стремление к развитию является следствием:

- признанной потребности и практической возможности и постоянно обеспечивать и подтверждать высокую технологичность и экологичность ядерной энергетики;
- возможности управления рисками в долгосрочной (десятки, сотни и тысячи лет) перспективе с исключением бремени на последующие поколения;
- жесткими ограничениями этих рисков, принятыми на международном уровне.

## Литература

1. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. — Под общ. ред. Е.В. Евстратова, А.М. Агапова, Н.П. Лаврова, Л.А. Большова, И.И. Линге. — 2012. — 356 с. — Т.1.
2. Федеральный закон от 10 июля 2001 г. N 92-ФЗ «О специальных экологических программах реабилитации радиационно загрязненных участков территории» // Собрание законодательства Российской Федерации от 16 июля 2001 г. № 29 ст. 2947.

3. Адамов Е.О., Ганев И.Х., Лопаткин А.В., Муратов В.Г., Орлов В.В. «Степень приближения к радиационной эквивалентности высокоактивных отходов и природного урана в топливном цикле ядерной энергетики России» // Атомная энергия. Т. 81. Вып. 6, 1996. С. 403–409.
4. Адамов Е.О., Ганев И.Х., Лопаткин А.В., Муратов В.Г., Орлов В.В. «Трансмутационный топливный цикл в крупномасштабной ядерной энергетике России: монография». М.: ГУП НИКИЭТ, 1999.
5. Глобальное партнерство. Материалы международной конференции «Глобальное партнерство «Группы восьми»: оценка и перспективы дальнейшего сотрудничества в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности» 21–23 ноября 2012 г. Москва. [www.NuclearSafety.ru](http://www.NuclearSafety.ru)
6. «Руководящие принципы, касающиеся процесса рассмотрения национальных докладов по Объединенной конвенции» (INFCIRC/603/Rev.3). Guidelines Regarding the Review Process at IAEA document INFCIRC/603/Rev.3 (18 July 2008).
7. Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. Правила процедуры и Финансовые правила (INFCIRC/602/Rev.3).
8. Третий национальный доклад России о выполнении обязательств по Объединенной Конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и с радиоактивными отходами. М., 2012.
9. Специальные требования безопасности к захоронению радиоактивных отходов (Disposal of Radioactive Waste Specific Safety Requirements) Series No. SSR-5, 2011.
10. Отчет по результатам проведения интенсивного проблемного семинара «Ядерная и радиационная безопасность России». ЛОК «Колонтаево». Росатом. 8–11 февраля 2006 г.
11. Проект Доктрины обращения с радиоактивными отходами в Российской Федерации.
12. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 // Annals of the ICRP V 37, N 2–4, Elsevier, 2007.
13. Международный опыт по захоронению радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива – Обзор литературы. Материалы подготовлены в рамках Соглашения о сотрудничестве в области захоронения радиоактивных отходов между Институтом проблем безопасного развития атомной энергетики РАН и SKB International AB. SKB International AB, июнь 2009 г.
14. Ельфимова 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». / Под общей редакцией Т.Л. Ельфимовой и И.И. Линге — М.: «Комтехпринт», 2011 г. 194 с.

## ГЛАВА 4

### Реализация программных мероприятий по решению проблемы накопленных РАО

Деятельность в области использования атомной энергии характеризуется длительными и сверхдлительными циклами. Например, продолжительность полного жизненного цикла современной атомной станции, начинающегося с изысканий, связанных с выбором площадки, и заканчивающегося завершением работ по выводу из эксплуатации, лежит в диапазоне от 80 до 150 лет. Продолжительность периода сохранения срока потенциальной опасности для некоторых видов РАО может измеряться сотнями тысяч лет. Решение накопленных проблем ядерного наследия в целом и в области обращения с РАО, в том числе, как уже отмечалось, также — тоже сложная, масштабная и рассчитанная на длительную перспективу деятельность, хотя сроки ее завершения более оптимистичны. В настоящее время представляется возможным решение этих задач в течение 50–100 лет. При этом предполагается, конечно же, не продолжительность сохранения потенциальных рисков, связанных с накопленными РАО, а их захоронение или консервация с очень высоким, практически гарантированным обеспечением радиационной безопасности населения и окружающей среды.

В проблеме накопленных РАО необходимо выделить две составляющие:

- собственно существующие технологии обращения с РАО, которые длительное время формировались в условиях отсутствия правового вектора на переработку РАО, подготовку к захоронению и собственно захоронение;
- большие объемы накопленных РАО, в том числе жидких РАО, размещенных в приповерхностных хранилищах.

Основное направление решения по первой из составляющих наследия — стимулирование органом управления в области обращения с радиоактивными отходами эксплуатирующих организаций к наращиванию объемов переработки и кондиционирования РАО. По второй составляющей необходима длительная работа с эффективным управлением ресурсами и рисками. Системный подход к решению задач такого рода предусматривает применение широкого набора инструментов, начиная от кратко- и среднесрочного планирования и завершая стратегическим планированием. Разработка стратегического плана по решению накопленных проблем еще впереди. В последние годы в этом направлении предпринимаются значительные усилия. Но на среднесрочный период программный и проектный методы управления применяются в полной мере. В настоящее время основные параметры и направления деятельности Госкорпорации «Росатом» зафиксированы в Программе долгосрочной деятельности, которую утвердило Правительство Российской Федерации, а основные направления деятельности по обращению с РАО включены в две федеральные целевые программы:

- ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (далее ФЦП ЯРБ);
- подпрограмма ФЦП «Промышленная утилизация вооружения и военной техники ядерного комплекса на 2011–2015 годы и на период до 2020 года» (комплексная утилизация АПЛ).

Первую из указанных ФЦП следует охарактеризовать как первый шаг в решении накопленных проблем [1]. По своему содержанию и условиям формирования [2] ФЦП ЯРБ – это программа неотложных мер, инвентаризации и поиска концептуальных и проектных решений, развертывания работ. В нескольких подразделах данной главы представлены результаты реализации мероприятий ФЦП ЯРБ, в том числе кратко по наиболее крупным объектам и более детально – по нескольким проблемным ситуациям. Это Теченский каскад водоемов и приповерхностные водоемы-хранилища РАО. Несмотря на начальный этап работ по ряду проблемных ситуаций уже проработаны детальные планы окончательного решения накопленных проблем. Примером методологически выверенной работы в этом направлении является стратегический план по организациям Российской академии наук. В 2013 году будет завершено формирование перечня работ, которые предстоит выполнить в 2016–2025 годах. Подходы к планированию и обоснованию программных мер также кратко представлены в данном разделе. Однако полный анализ задач в области накопленных РАО станет возможным только после 2014 года, когда завершится процедура первичной регистрации РАО и условий их размещения.

В области комплексной утилизации АПЛ и реабилитации береговых технических баз ситуация принципиально иная – основной объем работ по непосредственной утилизации АПЛ уже реализован, в части работ по Северо-Западному региону разработан исчерпывающий Стратегический мастер-план [2], который успешно реализуется – в том числе в наиболее сложной части – реабилитации бывших береговых баз Военно-Морского флота. Напомним, Стратегический мастер-план обеспечения ядерной и радиационной безопасности при утилизации выведенных из эксплуатации объектов атомного флота на Северо-Западе России был разработанный большим коллективом авторов из ведущих организаций страны (РНЦ КИ, НИКИЭТ, ИБРАЭ РАН и др.). Стратегический мастер-план был одобрен профильными международными организациями (Контактной экспертной группой МАГАТЭ, Исполнительным ядерным комитетом и Ассамблеей доноров Фонда Природоохранного партнерства Северного измерения) и введен в действие Приказом генерального руководителя Госкорпорации «Росатом». Тем не менее, и в арктическом регионе еще были своеобразные белые пятна – это затопленные ядерно и радиационно опасные объекты. В период после 2010 года эта проблема рассматривается все более содержательно.

Важной составляющей деятельности по решению проблем ядерного наследия являются работы в рамках глобального партнерства. Частные результаты этих работ постоянно рассматривались на различных форумах. В 2012 году в Москве прошла научная конференция, посвященная итогам десятилетнего сотрудничества. Краткий обзор итогов сотрудничества, представленный в данной главе, может дать представление о его масштабе и практических результатах.

Было бы крайне неправильно предполагать, что работы по наследию ведутся исключительно за счет средств федерального бюджета и международной помощи. Решающую роль в обеспечении безопасности объектов ядерного наследия играют эксплуатирующие организации, которые согласно действующему законодательству несут полную ответственность за их безопасность. Многие крупные организации Госкорпорации «Росатом», в том числе ОАО «Концерн Росэнергоатом» разрабатывают и реализуют свои программы, в том числе в области вывода из эксплуатации, обращения с ОЯТ и РАО, а некоторые из них, например ОАО «ТВЭЛ», близки к завершению разработки долгосрочных стратегических программ. Краткий обзор работ Концерна «Росэнергоатом» также приведен в рамках данной главы.



В целом финансовый вклад организаций отрасли в решение проблем ядерного наследия заметен даже в рамках мероприятий ФЦП ЯРБ. Однако в абсолютном измерении, с учетом непрограммных мероприятий и расходов организаций отрасли на содержание объектов, он сопоставим с объемами финансирования из средств федерального бюджета. Сформировавшийся принцип софинансирования является наиболее перспективным инструментом решения накопленных проблем, прямо демонстрирующим заинтересованность всех участвующих сторон.

#### 4.1. Реализация ФЦП ЯРБ

ФЦП ЯРБ представляет собой достаточно сложный инструмент управления. С одной стороны, метод программно-целевого управления позволяет не просто исходить из необходимости направления бюджетных ресурсов на достижение стратегически важных для государства результатов деятельности, но и осуществлять мониторинг и контроль достижения намеченных целей и результатов, а также проводить необходимую корректировку программы. С другой стороны, это жестко регламентированная, в смысле порядка организации работ, отчетности и корректировок, система управления. Основные требования к ней определены в утвержденном Правительством Российской Федерации (постановление от 26 июня 1995 г. № 594) документе, который называется «Порядок разработки и реализации федеральных целевых программ и межгосударственных целевых программ, в осуществлении которых участвует Российская Федерация». Этим же постановлением Правительства определен и «Порядок закупки и поставки продукции для федеральных государственных нужд». Указанные документы представляют собой детализированный перечень обязательных требований и условий реализации федеральных целевых программ. Эти условия постоянно совершенствуются. За время реализации ФЦП в указанные документы было внесено 7 значимых изменений. Согласно этим документам основную ответственность за реализацию федеральных целевых программ несет государственный заказчик-координатор.

Государственным заказчиком-координатором ФЦП ЯРБ является Госкорпорация «Росатом», государственными заказчиками – МЧС России, Росгидромет, Ростехнадзор, ФМБА России, Росморречфлот, Минпромторг России, Минобрнауки России, ФГБУ «НИЦ «Курчатовский институт». При таком количестве заказчиков и наличии нескольких подразделений Госкорпорации «Росатом», формирующих техническую политику в сфере реализации отдельных мероприятий (профильные Дирекции, Дирекция ЯРБ, Департамент ядерной и радиационной безопасности, организации лицензионной и разрешительной деятельности), задача организации управления программой оказывается нетривиальной. Эта нетривиальность усугубляется и количеством мероприятий Программы (более 350), и организаций-исполнителей (нескольких сотен подрядчиков — исполнителей отдельных мероприятий), и необходимостью отчитываться перед многими ведомствами (Правительство Российской Федерации, ВПК при Правительстве Российской Федерации, Минэкономразвития России, Минфин России, Росстат). Тем не менее, эта задача успешно решается – разработаны необходимые организационно-распорядительные документы, руководства и методики, организована система отчетности [3].

Напомним, каждое мероприятие ФЦП ЯРБ имеет так называемые программные характеристики, а именно четко зафиксированное наименование, объемы финансирования с указанием источников финансирования в целом по мероприятию, а также

по направлениям расходования. Для программы в целом определены, в том числе в разбивке по годам и на конец реализации Программы значения 10 целевых показателей. Кроме этого, существуют технические характеристики мероприятия, такие как строительный объем, мощность вводимых в эксплуатацию объектов, количество ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО), которые должны быть выведены из эксплуатации или ликвидированы в рамках выполнения мероприятия и др. Эти же характеристики мероприятия в идеале должны были быть отражены в технических заданиях на выполнение работ по государственному контракту, разделах инвестиционных соглашений, проектной документации. Однако тематическое разнообразие мероприятий, существенное уточнение содержания работ в ходе радиационных обследований или проектирования эту ситуацию существенно усложнили и предопределили необходимость постоянных управленческих воздействий.

Такие воздействия могут осуществляться двумя способами – на уровне уточнения параметров технического задания и на уровне корректировки программы. В первом случае, когда общие программные характеристики мероприятия остаются неизменными, корректирующие действия по уточнению технических требований осуществляются подразделением Госкорпорации «Росатом», формирующим техническую политику в данной сфере. В части обращения с РАО таким подразделением на протяжении последних лет является созданный в 2009 году Проектный офис «Создание Единой государственной системы обращения с РАО» Дирекции по ядерной и радиационной безопасности. К формированию технической политики привлекаются научные организации отрасли и Российской академии наук, специалисты промышленных предприятий. Во втором случае, когда необходимо изменить зафиксированный непосредственно в тексте программы параметр мероприятия, реализуются сложные процедуры, связанные с корректировкой программы и утверждением откорректированной программы Правительством Российской Федерации.

Причин для корректировок формируется достаточно много, причем большинство из них носит объективный характер. Среди них – уточнение параметров предстоящих работ по результатам комплексных инженерно-радиационных обследований, отклонение стоимости проекта от запланированной, задержки с поставками сложного оборудования, прохождением экспертиз и как следствие изменение объемов финансирования в целом по мероприятию или объемов годового финансирования по направлению расходования и так далее. По этим причинам предложения по корректировке мероприятий программы формируются на постоянной основе с учетом возможностей ее реализации в текущем году. Это связано со сложным и длительным процессом формирования и согласования откорректированного варианта Программы на различных уровнях (организации – исполнители мероприятий, подразделения «Госкорпорации «Росатом», государственные заказчики Программы, Минэкономразвития России, Минфин России, ВПК при Правительстве Российской Федерации), продолжительность процесса согласования может достигать полугода. В 2008–2012 годах корректировки программных характеристик проводились 5 раз. Например, из-за уменьшения объемов финансирования в 2009–2012 гг. (на 9,0 млрд рублей) сроки многих мероприятий были скорректированы, начало реализации ряда мероприятий было отложено. Ожидание, а потом и принятие в 2011 г. федерального закона об обращении с РАО (190-ФЗ) обусловило пересмотр взглядов на строительство временных хранилищ РАО. Именно эти объекты, планировавшиеся к строительству на бывших спецкомбинатах «Радон», должны были обеспечить наполнение одного из целевых индикаторов программы. Напомним, что эти мероприятия были включены

в программу по предложению Росстроя в 2006 году, и они предполагали сохранение прежней парадигмы, ориентированной на хранение РАО. Указанные обстоятельства также потребовали углубленной переработки содержания многих мероприятий.

В общем и очень упрощенном виде реализацию программы можно представить в виде следующих ежегодно повторяющихся шагов (рис. 4.1.1): контрактация, управление реализацией государственных контрактов, подготовка квартальной и годовой отчетности для Минэкономразвития России, корректировка программы и бюджетной проектировки программы.

Однако практика реализации программы показала, что описанная схема отобра-



Рис. 4.1.1. Годовой цикл реализации Программы

жает лишь общий взгляд на проблему – практика значительно многообразнее. Так, бюджетная проектировка и корректировка программы начинаются практически одновременно в начале года. При этом корректировке могут подвергаться объемы финансирования текущего года в рамках лимитов бюджетных обязательств. На рис. 4.1.2 это отображено стрелками 1 и 2. Эти два процесса, в свою очередь, влияют на другие три процесса – контрактацию (стрелки 3 и 4), управление реализацией государственных контрактов (5 и 6) и подготовку отчетности (7 и 8), которые в свою очередь влияют друг на друга (9–11). Например, во время корректировки программы необходимо, чтобы по каждому мероприятию скорректированное значение объема финансирования по направлениям расходов на текущий год безусловно было равно сумме объемов финансирования новых и переходящих контрактов на текущий год. Если это не так, то корректируют либо годовую программу закупок, либо объемы финансирования переходящих договоров. Отметим, что разработка годовой программы закупок начинается в предыдущем году. Одним из способов управления реализацией государственных контрактов является процедура заключения дополнительных соглашений

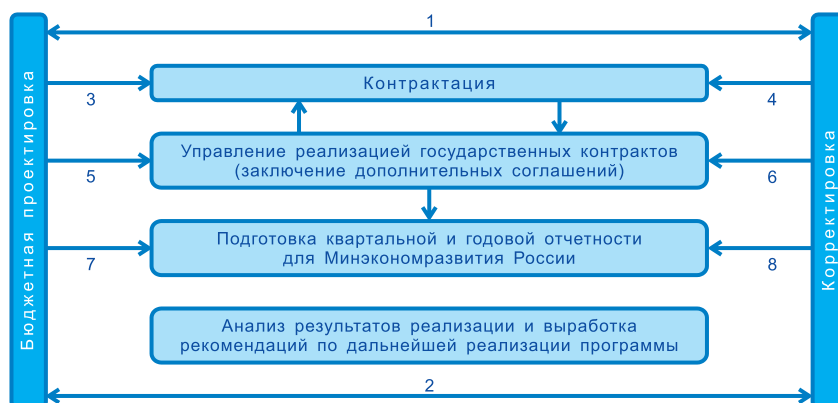


Рис. 4.1.2. Схема взаимодействия процессов реализации Программы

к государственным контрактам на текущий год. При этом управление реализацией государственных контрактов для направлений НИОКР и «прочие нужды» существенно отличается от капитальных вложений. Для последних предусмотрена процедура заключения соглашений о предоставлении бюджетных инвестиций, так называемых инвестиционных соглашений, когда государственный заказчик часть полномочий по управлению реализацией контрактов передает предприятиям, на которых сооружаются объекты капитального строительства. Финансирование работ по сооружению объектов капитального строительства для организаций различных форм — ФГУП и ОАО — имеют принципиальные различия. ОАО финансируются одновременно через покупку акций, а ФГУПы по мере реализации поставок или «под ключ».

По этой причине важнейшей составляющей управления реализацией программы становится анализ промежуточных результатов и выработка рекомендаций по реализации программы.

Успешной реализации ФЦП ЯРБ способствует созданная система информационно-аналитической поддержки программы, которая включает подсистемы мониторинга индикаторов и показателей реализации программы, государственных закупок и реализации контрактов, подсистему подготовки отчетности для Минэкономразвития России и Государственного заказчика-координатора, подсистемы корректировки и бюджетной проектировки, а также аналитическую подсистему сопровождения программы (рис. 4.1.3). Ежегодно в рамках реализации мероприятий программы готовится около 3,5 тыс. документов, утверждаемых или согласуемых на уровне государственного заказчика-координатора. В целях обеспечения успешной реализации программы создан банк данных, который включает документарный и объектовый разделы. Документарный раздел включает более 10 тыс. документов, касающихся реализации программы. В объектовый раздел включены данные по более чем 2 тыс. объектам. Среди них объекты, на которых реализуются мероприятия программы, а также иные объекты, на которых мероприятия по повышению безопасности или выводу из эксплуатации планируется проводить в будущем.

Постоянный контроль [4] реализации мероприятий программы включает мониторинг достижения запланированных значений целевых индикаторов и показателей, осуществляется на основе ежегодного поквартального планирования и регулярной отчетности организаций — исполнителей работ. Исполнители ежеквартально предоставляют отчетность о достигнутых (с начала выполнения программы и в текущем году) и планируемых (в текущем году и на момент завершения реализации мероприятия) значениях целевых показателей. Такую же информацию представляют заказчику-координатору и другие государственные заказчики.

В целом программа реализуется успешно, хотя в отдельные годы наблюдаются небольшие отставания, которые в последующий период компенсируются. К концу 2011 года значение целевого индикатора «степень достижения основной цели программы» достигло 36,6% вместо 34,7%, то есть мероприятия программы реализуются с небольшим перевыполнением плана. К концу 2012 года значение целевого индикатора вышло на плановый уровень — 39,6.

Подводя промежуточные итоги реализации ФЦП ЯРБ можно констатировать и прогнозировать, что основные задачи ФЦП ЯРБ как этапа реализации неотложных мер будут успешно решены. Выполненные в 2008–2012 годах практические мероприятия уже позволили снять остроту ситуации с обеспечением безопасности ТКВ (см. раздел 4.2). К настоящему времени получено достаточно информации для оценки всего объема накопленных проблем в сферах обращения с ОЯТ, РАО и вывода из эксплуа-

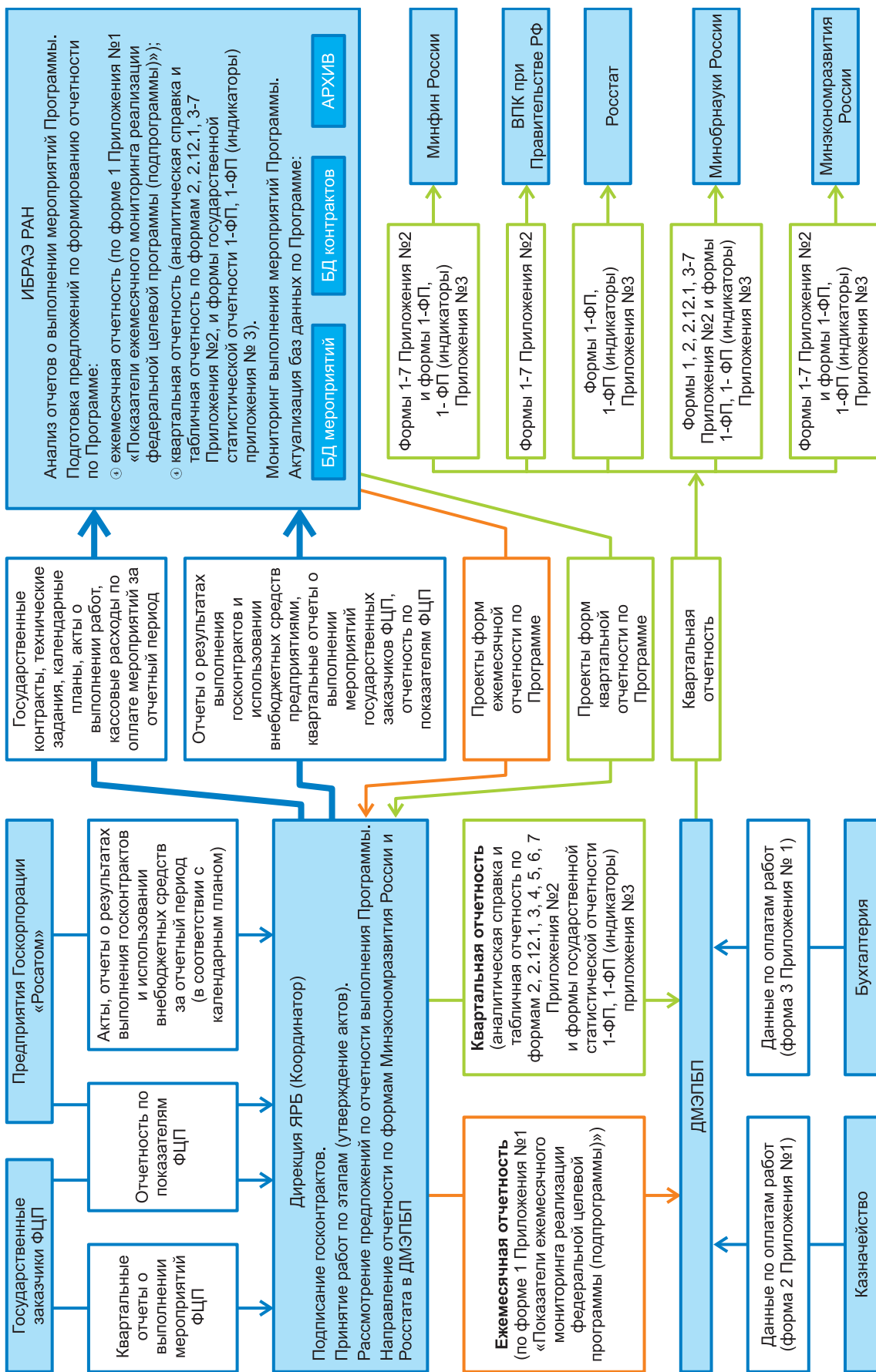


Рис. 4.1.3. Схема информационного обеспечения ФЦП ЯРБ в части подготовки отчетности



тации. По этим оценкам, в рамках ФЦП ЯРБ к 2015 году будет выполнено около 11% суммарного объема работ по проблеме «ядерного наследия». Весь комплекс работ может быть реализован в период до 2070 года.

Оценивая взятые темпы работ можно констатировать, что оснований для радикального пересмотра набранных темпов работ в сторону резкого наращивания нет.

#### ***4.1.1. Реализация мероприятий ФЦП по смежным направлениям деятельности (ОЯТ и ВЭ)***

Кратко остановимся на наиболее значимых мероприятиях, позволяющих утверждать, что программа реализуется успешно. По объемам финансирования ее основу составляют мероприятия по обращению с ОЯТ, РАО и выводу из эксплуатации. Большинство этих практических мероприятий программы либо напрямую связано с обеспечением безопасности накопленных РАО, либо предусматривают работы, в результате которых РАО образуются (вывод из эксплуатации, обращение с ОЯТ, реабилитация территорий).

В области обращения с ОЯТ произошло несколько знаковых событий.

Первое из них связано с мероприятием № 1 программы, которое предусматривает строительство сухого хранилища облученного ядерного топлива реакторов РБМК-1000 и ВВЭР-1000 (ХОТ-2) на площадке ФГУП «Горно-химический комбинат» (г. Железногорск, Красноярский край). Начиная с первого года реализации ФЦП ЯРБ усилиями руководства Госкорпорации «Росатом» и ФГУП «ГХК» строительству комплекса был задан высокий темп (рис. 4.1.4). Генеральный проектант объекта – ОАО «ГИ «ВНИПИЭТ». Генеральный подрядчик – ОАО «Бурягэсстрой». К работам привлекалось более 100 подрядных организаций. Объем финансирования из федерального бюджета в период 2008 – 2011 годы составил 18,03 млрд руб. В 2011 году строительство пускового комплекса сухого хранилища ОЯТ реакторов РБМК-1000 емкостью 8204 т по урану было завершено. В состав пускового комплекса вошли: здание основной технологии с железнодорожными путями и коммуникациями; участок обращения с РАО; подсистемы энерго- и газозавозоснабжения, охраны, внутриплощадочные сети энерго- и водоснабжения, а также спецканализации; дренажная сеть площадки; автодороги и проезды площадки. Наличие всех необходимых компонент инфраструктуры позволило приступить к его эксплуатации. 10 апреля 2012 года на ГХК был принят первый эшелон ОЯТ с Ленинградской АЭС (рис.4.1.5), а спустя несколько дней топливо было размещено на хранение. В настоящее время хранилище работает в штатном режиме.

Сухое хранилище ОЯТ является уникальным по насыщенности новыми техническими решениями и уровню безопасности. Безопасное размещение ОЯТ на длительное хранение обеспечивается шестью базовыми операциями, которые начинаются с перегрузки контейнера с транспортного средства в технологическую цепочку хранилища и завершаются размещением пенала на длительное хранение (рис. 4.1.6). Впервые в российской практике реализован наиболее надежный – «пассивный» принцип защиты при тяжелых авариях в отношении хранилищ ОЯТ. Технология «сухого» хранения ОЯТ, примененная на хранилище, основана на пассивном принципе обеспечения безопасности хранения ОЯТ, и в случае потери источников энергоснабжения будут сохранены все условия безопасного хранения ОЯТ за счет естественной конвекции охлаждающего потока воздуха. В рамках анализа и обоснования безопасности хранилища был выполнен комплекс необходимых исследований и оценок, в



Рис. 4.1.4. Строительство пускового комплекса сухого хранилища – осень 2009 года



Рис. 4.1.5. Встреча первого эшелона с ОЯТ РБМК-1000 – апрель 2011 года

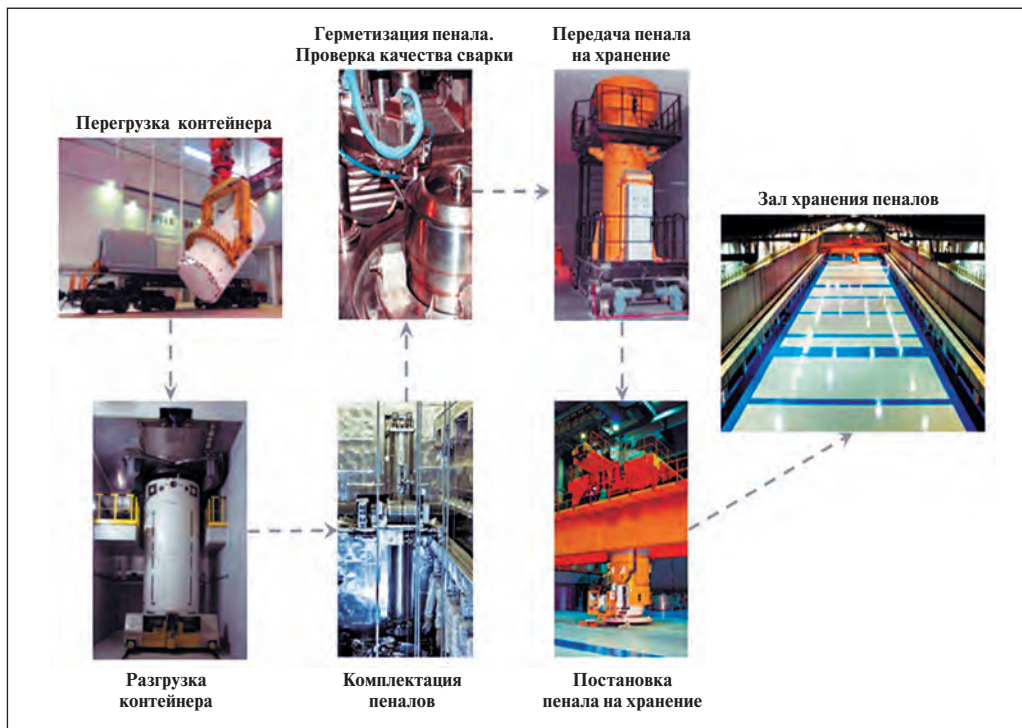


Рис. 4.1.6. Схема размещения ОЯТ на длительное хранение

рамках которых проанализированы все, даже крайне маловероятные нарушения и аварии от падения самолета до инцидентов с падением пучков ТВЭЛов в горячей камере на этапе комплектации пенала. Показано, что они не приводят к выходу радиоактивных веществ за пределы хранилища [5]. Принципиально важно, что комплекс ХОТ-2 станет частью мощного кластера, ориентированного в том числе и на обращение с перспективными видами топлива [6].

Начало работ по вывозу ОЯТ с Ленинградской АЭС состоялось благодаря своевременной разработке всего технологического процесса перевода ОЯТ РБМК с мокрого хранения на сухое [7] и пуску комплекса разделки и подготовки к вывозу (работы финансировались за счет концерна «Росэнергоатом») и мероприятий ФЦП ЯРБ, в

рамках которых проводится вывоз и размещение топлива в сухом хранилище. На Курской АЭС завершение строительства комплекса контейнерного хранения и начало вывоза ОЯТ на ФГУП «ГХК» запланировано на 3 квартал 2013 года, а на Смоленской АЭС – на 2015 г.

Следует отметить, что на ФГУП «ГХК» в соответствии с принятой технологией транспортируются только кондиционные, герметичные ОТВС. Начало практических работ по разгрузке пристанционных хранилищ позволило концерну «Росэнергоатом» существенно уточнить представления об объемах ОЯТ РБМК-1000, не подлежащих размещению в сухом хранилище, выработать технические предложения по его минимизации, как правило, за счет устранения механических дефектов, препятствующих его поступлению в технологическую цепочку перевода на сухое хранение. В отношении негерметичного ОЯТ Госкорпорацией «Росатом» было принято решение о реализации регулярных перевозок некондиционных ОТВС реакторов РБМК в ФГУП «ПО «Маяк» на переработку. Регулярный вывоз некондиционных ОТВС планируется начать с 2014 года.

В 2011 году завершены работы по мероприятию №2 ФЦП ЯРБ. Оно предусматривало реконструкцию «мокрого» хранилища ОЯТ ВВЭР-1000 на ФГУП «Горно-химический комбинат» (г. Железнодорожск, Красноярский край). Генеральный проектант объекта — ОАО «ГИ «ВНИПИЭТ». Функции генподрядчика выполнило ОАО «Бурягэсстрой». К работам было привлечено более 30 подрядных организаций. Объем финансирования из федерального бюджета в период 2008–2011 годы составил 1,4 млрд руб. В рамках реконструкции повышена сейсмостойкость комплекса хранения, увеличена емкость хранения, глубоко модернизированы системы обеспечения безопасности. В том числе в реконструированном «мокром» хранилище предусмотрена «самотечная» система охлаждения (рис. 4.1.7), обеспечивающая возможность необходимого орошения топлива при полной потере источников энергоснабжения в течение 72 часов [5].

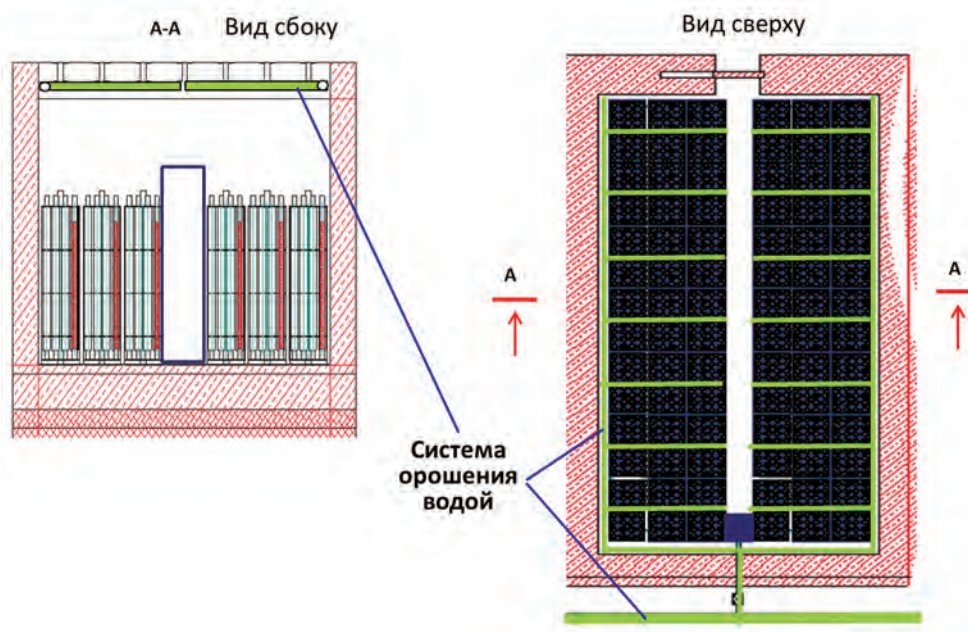


Рис. 4.1.7. Схема аварийного орошения отсека мокрого хранилища ОЯТ



К настоящему времени на ГХК создана инфраструктура мощностью 16,7 тыс. тонн для хранения ОЯТ реакторов РБМК и ВВЭР, позволяющая обеспечить вывозить ОЯТ из хранилищ основного парка АЭС в течение ближайших десятилетий. К 2015 году планируется завершить строительство сухого хранилища ОЯТ, что позволит и разместить в нем практически все накопленное ОЯТ типа РБМК-1000 и ВВЭР-1000. В период после 2015 года начнется перегрузка выдержанного в хранилищах ОЯТ ВВЭР-1000 в сухое хранилище.

Объекты долговременного безопасного хранения ОЯТ являются важным, но не окончательным этапами жизненного цикла топлива. Реально завершающими шагами является переработка ОЯТ, предусматривающая разделение ценных компонентов, а именно регенерированных ядерных материалов и РАО. Одним из мероприятий ФЦП ЯРБ предусмотрено создание опытно-демонстрационного центра (ОДЦ) по радиохимической переработке ОЯТ на основе инновационных технологий. Центр планируется построить на площадке ФГУП «ГХК» в непосредственной близости от комплексов мокрого и сухого хранения ОЯТ (рис. 4.1.8). Работы были начаты в рамках ФЦП ЯРБ в 2008 году. В 2011 году завершены работы по проектированию. При проектировании ОДЦ ключевое внимание уделялось минимизации образования РАО. Работы по проектированию сопровождались отработкой отдельных технологических операций и в лабораторных условиях и непосредственно на ФГУП «ГХК». Нарботанный к настоящему времени проектный и технологический задел позволяет утверждать, что в сравнении с действующими в мире аналогичными производствами ОДЦ ГХК будет производством следующего поколения. Проект предусматривает полное исключение образования жидких РАО и многократное сокращение объемов твердых РАО. В 2015 году планируется осуществить ввод в эксплуатацию пускового комплекса, а к 2018 году выйти на проектные характеристики по объемам



Рис. 4.1.8. Вид будущего кластера по обращению с ОЯТ

переработки и номенклатуре обрабатываемых операций. Основная задача ОДЦ — наработка технологического опыта для создания промышленного производства в будущем. Именно эффективное промышленное производство с востребованными продуктами переработки и производительностью порядка тысячи тонн в год решит проблему накопленного отработавшего ядерного топлива типа РБМК-1000 и ВВЭР-1000.

Единственное действующее производство по переработке ОЯТ в России — завод РТ-1 на ФГУП «ПО «Маяк» — также активно участвует в реализации мероприятий ФЦП ЯРБ. Эти мероприятия предусматривают дооснащение РТ-1, с целью переработки новых видов топлива, создание комплексов переработки РАО, прием на переработку ОЯТ исследовательских реакторов, переработку ранее накопленных высокоактивных ЖРО. Мероприятия также успешно реализуются. Уже в ближайшие годы завод сможет перерабатывать накопленное ОЯТ реакторов АМБ-100 и АМБ-200 (блоки 1 и 2 Белоярской АЭС) и ОЯТ реакторов РБМК-1000 (не подлежащее долговременному хранению по критериям безопасности). Значимая часть ОЯТ, образовавшегося при эксплуатации исследовательских ядерных установок, уже вывезена на переработку на РТ-1 и успешно переработана. ОЯТ в рамках реализации мероприятий ФЦП ЯРБ вывозилось из научных центров, расположенных в Москве (РНЦ КИ), Обнинске и Димитровграде.

Вывод ядерно и радиационно опасных объектов из эксплуатации и реабилитация территорий относится к ключевым индикаторам программы. На момент ее завершения планируется:

- провести инвентаризацию 270 ЯРОО;
- подготовить к выводу из эксплуатации 188 ЯРОО;
- ликвидировать 42 ЯРОО.

По состоянию на начало 2013 года эти показатели успешно реализуются, в том числе осуществлена инвентаризация 169 объектов, по подготовке к выводу показатель достиг значения 123 объекта, ликвидировано 10 объектов.

Если инвентаризация важна для планирования будущих работ, то подготовка к выводу означает реальное продвижение вперед по конкретным уже остановленным или близким к окончательному останову объектам и началу практических работ по выводу из эксплуатации. Этот комплекс подготовительных работ, который включает в себя:

- приведение объекта в ядерно безопасное состояние, то есть удаление отработавшего ядерного топлива и ядерных материалов;
- работы по планированию вывода из эксплуатации, подразумевающие определение ключевых принципов и решений при выводе из эксплуатации объекта, их обоснование и формализация в виде концептуальных и программных документов;
- проведение комплексного радиационно-инженерного обследования, по данным которого в дальнейшем ведутся научно-исследовательские и изыскательские работы, направленные на разработку технологий, необходимых для обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации, дезактивации и демонтажа конструкций, моделировании и обосновании безопасности работ по выводу из эксплуатации;
- апробация и отработка технологий, необходимых при выводе из эксплуатации, в зависимости от специфики работ могут осуществляться на экспериментальном стенде или на компьютерном тренажере;



- проектно-конструкторские работы, в рамках которых разрабатывается вся необходимая документация для практического осуществления работ, в том числе создания необходимой инфраструктуры и обеспечения достижения объектом конечного состояния;
- деятельность, направленная на получение лицензии на вывод из эксплуатации, заключающаяся в подготовке и направлении соответствующего пакета документов (в том числе, отчета по обоснованию безопасности принятых решений и планируемых работ) в органы государственного регулирования безопасности.

В большинстве случаев, когда стоит задача вывода из эксплуатации простых объектов, процесс подготовки к выводу из эксплуатации ведется в рамках ранее принятых концептуальных решений, программ и проектов. В случае сложных объектов возможны пересмотры ранее выбранной концепции. Например, для промышленных реакторов в одобренной в 2004 году «Концепции вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов» в качестве базового предусматривался вариант долговременного хранения в пределах шахты на срок не менее 100 лет. В 2009 году эта концепция была пересмотрена и одобрена новая «Концепция вывода из эксплуатации промышленных уран-графитовых реакторов по варианту безопасного захоронения на месте», которая в качестве базового варианта предусматривает создание пункта консервации особых РАО. В рамках реализации этого варианта отработаны основные технологические и проектные решения, предусматривающие (рис. 4.1.9) полный демонтаж обеспечивающих систем и оборудования наземных сооружений, бетонирование помещений нижних отметок и подреакторного пространства до нижней биологической защиты, бесполосное заполнение внутриреакторных пространств барьерными смесями на основе природной глины.

В условиях, когда однотипных или почти однотипных установок много целесообразно ведение серийных работ. С этой целью на базе ОАО «СХК» была создана новая организация – ОАО «Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых ядерных

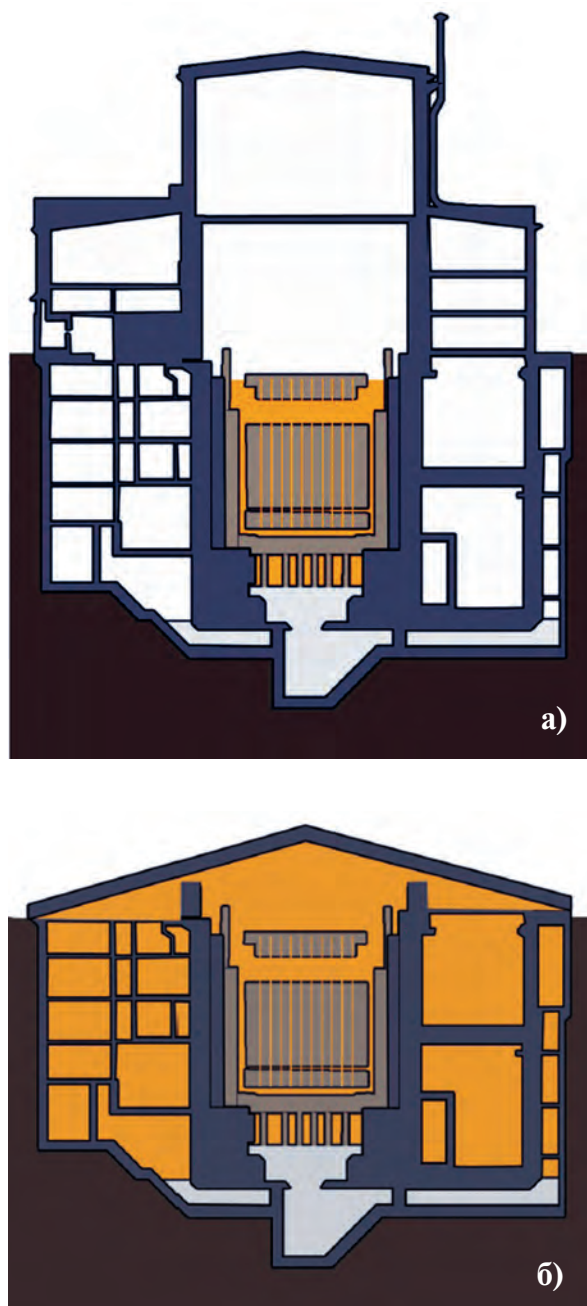


Рис. 4.1.9. Принципиальная схема преобразования уран-графитового реактора в пункт консервации особых РАО: а — до преобразования; б — после преобразования

реакторов» (ОДЦ УГР). В настоящее время ОДЦ УГР ведет работы по подготовке к выводу из эксплуатации промышленных реакторов СХК и ГХК и остановленных энергоблоков 1 и 2 Белоярской АЭС. ОДЦ УГР освоил базовые технологии вывода из эксплуатации [8], включая задачу реинжиниринга данных и отработки технологий вывода на основе 3D-моделей (рис. 4.1.10), экспериментально обосновал их надежность (рис. 4.1.11) и готов к завершению пилотного проекта по выводу из эксплуатации промышленного реактора ЭИ-2 на площадке СХК к 2015 году и последующему выходу на серийные работы.

Отметим, что развертывание подготовительных работ по выводу из эксплуатации инициирует рассмотрение новых аспектов в проблеме накопленных РАО. Подобных примеров много, рассмотрим один — связанный с облученным графитом. Напомним, что на территории Российской Федерации в настоящее время работают 15 энергоблоков с уран-графитовыми реакторами: 11 энергоблоков РБМК и 4 энергоблока ЭГП-6. Остановлены и находятся в процессе вывода из эксплуатации или подготовки к нему 13 промышленных уран-графитовых реакторов, два блока АМБ-100 и АМБ-200

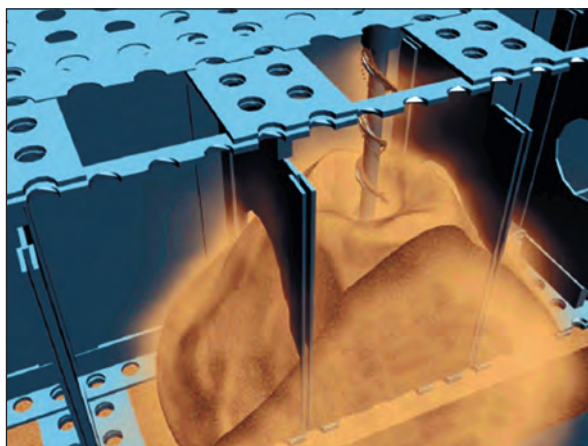


Рис. 4.1.10. Моделирование бесполостного заполнения

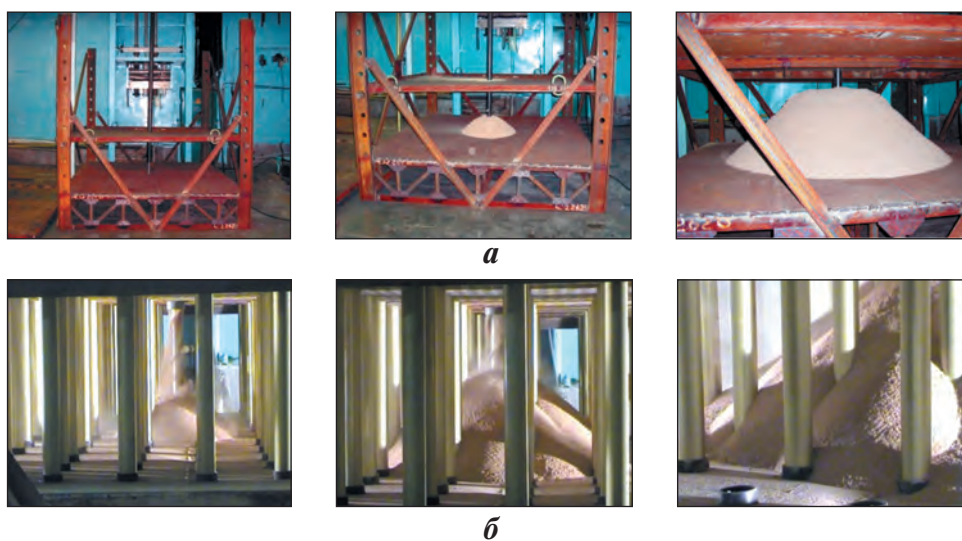


Рис. 4.1.11. Экспериментальная отработка технологии бесполостного заполнения:

а — заполнение в свободном пространстве между двумя плоскостями;

б — заполнение в пространстве между двумя плоскостями с трубами технологических трактов

(1-й и 2-й блоки Белоярской АЭС) и реактор АМ первой в мире АЭС (г. Обнинск). Всего в России предстоит решить задачу захоронения или утилизации 60 тыс. тонн графита. Аналогичные вопросы стоят и перед рядом других стран. Это Франция, Великобритания, Германия, Испания, Италия, Украина, Литва. Очевидных и простых решений этой проблемы пока не выработано, и ряд национальных организаций по обращению с РАО, например, французская АНДРА, определяет эту проблему как единственно нерешенную.

Основные причины этого в следующем:

- уровни наведенной активности реакторного графита оказываются весьма высокими ( $10^8$ – $10^9$  Бк/кг по углероду), в том числе по таким долгоживущим радионуклидам, как  $^{14}\text{C}$  и  $^{36}\text{Cl}$  (более 95% наведенной активности);
- температура начала горения составляет величину  $\sim 700$  °С, а опасность возгорания усугубляется наличием в облученном графите запасенной энергии (энергии Вигнера), способной при определенных условиях выделяться.

В ряде случаев эксплуатация установок сопровождалась нарушениями целостности топлива и попаданием в графит продуктов деления и актиноидов.

Тематика реакторного графита стала одной из основных для ОАО «ОДЦ УГР». Для заглубленных установок, какими являются промышленные реакторы, работоспособным вариантом может оказаться захоронение или долгосрочная консервация на месте. По крайней мере, существующие и прорабатываемые долгосрочные прогнозы дают основания для оптимизма в надежном обосновании безопасности. Однако для реакторных установок АЭС этот подход мало пригоден. По этой причине ОДЦ УГР стал координатором работы по формированию программы работ в данной области. В 2012 году программа работ по графиту была одобрена Госкорпорацией «Росатом».

В качестве примера других практически ведущихся работ по выводу из эксплуатации отметим мероприятия по выводу из эксплуатации исследовательских ядерных установок ФГБУ «НИЦ «Курчатовский институт». В первом томе [2] отмечалось, что работы по ликвидации ядерного наследия на этой площадке стартовали до начала реализации ФЦП ЯРБ. В рамках ФЦП они продолжены — реализуется мероприятие, направленное на вывод из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ. На эту работу в период 2008–2012 гг. было выделено из федерального бюджета 0,9 млрд руб. Реактор МР введен в эксплуатацию в 1964 году, остановлен в 1993 году, мощность реактора вместе с петлевыми установками составляла 50 МВт. Реактор МР переведен в ядерно безопасное состояние в 1996 году. Реактор РФТ — уран-графитовый реактор канального типа, предназначенный для проведения физических и технических исследований, был введен в эксплуатацию в 1952 году, остановлен в 1962 году. После останова вспомогательное оборудование было демонтировано, а внутрикорпусные устройства захоронены в бетонной шахте, которая находится в центральном зале МР.

Стратегия вывода из эксплуатации реакторов МР и РФТ состоит в следующем: немедленный поэтапный демонтаж конструкций и оборудования реактора и петлевых установок МР; ликвидация внутри корпусных конструкций реактора РФТ; конечное состояние — создание производственного комплекса для обращения с ОЯТ и ВАО для обеспечения вывода из эксплуатации других установок; радиологический критерий остаточного загрязнения — гигиенический норматив персонала группы Б.

Основными задачами на этапе подготовки к выводу из эксплуатации МР и РФТ являлись удаление опытной ТВС петлевой установки с жидкометаллическим тепло-





Рис. 4.1.12. Демонтаж реакторного оборудования в РНЦ КИ: а — начало работ; б — применение робототехники; в — после демонтажа оборудования

носителем из активной зоны МР; удаление двух опытных ТВС петлевых каналов с газовым теплоносителем из бассейна-хранилища МР; диагностика петлевых каналов и других объектов в бассейне-хранилище и приреакторных хранилищах МР на предмет наличия ядерного топлива; извлечение из бассейна-хранилища МР петлевых каналов, их фрагментация, сортировка по уровню активности, кондиционирование и удаление на накопительную площадку или в хранилище ВАО; комплексное инженерное и радиационное обследование оборудования, технологических помещений, здания и площадки МР; выбор технологического оснащения для обеспечения демонтажных работ; разработка и экспериментальное тестирование диагностического оборудования для обеспечения проведения работ в высоких радиационных полях; разработка, экспертиза и утверждение проектной и рабочей документации по выводу из эксплуатации РФТ; разработка пакета документов и получение лицензии Ростехнадзора на вывод из эксплуатации МР.

Уже в 2009–2010 годах этап подготовки к выводу был завершён, подготовлен пакет требуемых документов и получена лицензия Ростехнадзора на вывод и эксплуатации МР, осуществлена реконструкция инженерно-технологических систем МР (электрообеспечения, тепло- и водоснабжения, спецвентиляции, пожарной сигнализации и радиационного контроля), на реакторе начаты демонтажные работы.

Работы по демонтажу оборудования ведутся в сложных радиационных условиях, с применением робототехники (рис. 4.1.12) [9]. К концу 2012 года на объекте было демонтировано 213 тонн оборудования, из которых 156 тонн отнесено к РАО. Объём локализованной активности составил 150 Гбк.

В ряде случаев, когда осуществляется подготовка к выводу из эксплуатации уникальных объектов, возникает необходимость полного пересмотра началь-

ных планов. Так, например, по корпусу Б ОАО «ВНИИНМ» в ФЦП ЯРБ изначально был предусмотрен относительно небольшой объем работ на вывод из эксплуатации общей стоимостью 100 млн руб., который предусматривал дезактивацию помещений. Однако результаты инженерно-радиационных обследований показали, что дезактивация здания невозможна и требуется полный демонтаж здания. Последующие предпроектные проработки, согласование и утверждение проекта привели к увеличению стоимости работ более чем в 20 раз. Следствием этого явилась корректировка программы и дополнительное привлечение 350 млн руб. внебюджетных средств. Эти средства на вывод из эксплуатации корпуса Б планирует выделить ОАО «ТВЭЛ». В настоящее время ведутся практические работы по реализации проекта вывода из эксплуатации корпуса Б.

В области вывода из эксплуатации есть и завершенные мероприятия ФЦП ЯРБ. По 10 объектам работы завершены. Среди них и крупные объекты.

В рамках мероприятия 107 программы, например, был выведен из эксплуатации [10] комплекс зданий и сооружений уранового производства (в терминах ФЗ «Об использовании атомной энергии» – это ядерная установка) одного из производств ОАО «ТВЭЛ».

Приказ по остановке производства вышел в начале 2008 года. Работы по демонтажу оборудования, его фрагментации, упаковке образовавшихся ТРО и их транспортированию в пункты захоронения и переработки начаты в августе 2008 года. Демонтаж основного и вспомогательного оборудования и его утилизация закончены в первом квартале 2009 года. С марта 2009 года начаты работы по подготовке к ликвидации объекта размещения производственных участков – корпуса № 197. Был проведен комплекс дезактивационных работ по корпусу 197, которые позволили значительно сократить объем ТРО и перевести строительные отходы от разборки корпуса № 197 в категорию нерадиоактивных. При выполнении работ по демонтажу подземной части корпуса № 197 были выявлены дополнительные, неучтенные проектом ТРО объемом 34 куб. м, которые были упакованы в контейнеры и отправлены на хранение.

Разборка здания, демонтаж фундаментов и подвального помещения, ликвидация отдельных локальных очагов радиоактивного загрязнения грунтов завершены в апреле 2010 г. Обратная засыпка котлована «чистым» грунтом и песчано-гравийной смесью, которая завершена к 10.05.2010 г. с благоустройством территории (рис. 4.1.13). В корпусах № 7, 24, 124, входящих в состав ядерной установки согласно решениям, принятым по результатам КИРО, проведен демонтаж радиационно загрязненного оборудования, дезактивация и косметические ремонты внутренних помещений. Здания используются в производственно-хозяйственной деятельности предприятия.

Объем образовавшихся ТРО в процессе ликвидации ядерной установки составил 793,8 т. Отходы размещены на промежуточное хранение. Объем строительных отходов, не отнесенных к категории РАО, составил 11,5 тыс. куб. м. Отходы размещены на полигоне промышленных отходов ООО «Вторичные ресурсы Красноярск».

Таким образом, урановое производство выведено из эксплуатации по варианту «зеленая лужайка» и снято с регулирующего надзора со стороны Ростехнадзора.

Вывод из эксплуатации не во всех случаях является сложным и наукоемким процессом. Зачастую, когда речь идет о радиационных источниках, используется более простые понятия – ликвидация объекта, разрядка источника. Однако и эти операции требуют значительных временных и финансовых затрат, высокой квалификации, технологической оснащенности [11]. Одной из немногих организаций, имеющих производственную базу, квалифицированный и опытный персонал, является ОАО «В/О «Изо-



топ», которая активно участвует в реализации мероприятий ФЦП ЯРБ. В период 2009–2012 годов на производственной базе этой организации было разобрано 154 мощных источников (типа РИТЭГ) различных типов, в том числе в рамках ФЦП ЯРБ – 30 единиц (рис. 4.1.14). Из них изъяты и переданы на долговременное хранение 165 радиоизотопных источников тепла (РИТ), остаточная активность которых составила 4180 кКи.

Основной объем по РИТЭГам в рамках ФЦП реализуется по мероприятию «Вывоз с объектов навигационного обеспечения Северного морского пути и утилизация радиоизотопных термоэлектрических генераторов, снятых с эксплуатации», государственным заказчиком которого является Росморречфлот. В период 2008–2012 гг. из федерального бюджета было выделено 119,8 млн руб. В этот период были проведены работы по обследованию и демонтажу 6 снятых с эксплуатации РИТЭГ с объектов

навигационного обеспечения Северного морского пути, по разборке 42 РИТЭГ на предприятиях Госкорпорации «Росатом» и извлечению радионуклидных источников тепла и транспортировке РИТ на ФГУП «ПО «Маяк».

#### **4.1.2. Реализация мероприятий ФЦП по повышению безопасности ядерно и радиационно опасных объектов**

Большое количество мероприятий ФЦП ЯРБ затрагивает различные аспекты безопасности – начиная от технических мер по повышению надежности защитных барьеров, дезактивации и усиления систем физической защиты и заканчивая развитием систем контроля радиационной и радиологической обстановки, научными исследованиями в области обеспечения безопасности.

Некоторые из мероприятий ФЦП затрагивают один объект или одно направление деятельности. Например, в рамках ФЦП создана система радиологического мониторинга района размещения ФГУП «ПО «Маяк», где сосредоточен основной объем накопленных РАО. Одновременно финансируются работы по системе мониторинга недр, которая предусматривает в конечном итоге полный охват предприятий «Росатома». Системы АСКРО предприятий отрасли функционируют и развиваются в основном за счет средств эксплуатирующих организаций. Однако развитие территориальных систем радиационного контроля и ава-



*Рис. 4.1.13. Производственный комплекс ОАО «ХМЗ» до (а), во время (б) и после (в) проведения работ по выводу из эксплуатации*



Рис. 4.1.14. Стадии разрядки РИТЭГа: а — начальная; б — завершающая

рийного реагирования ведется на паритетных началах с субъектами Российской Федерации (50% — средства субъектов, 50% — средства федерального бюджета в рамках ФЦП ЯРБ). Создание систем АСКРО и локальных кризисных центров на предприятиях судостроительной промышленности также ведется в основном за счет средств федерального бюджета. В рамках ФЦП предусмотрено создание минимально необходимых компонент систем радиационного контроля и аварийного реагирования. В случае привлечения дополнительных источников финансирования формируются полномасштабные и современные системы. В последние годы такие современные системы были созданы в Мурманской и Архангельской областях, где сосредоточено большое количество ядерно и радиационно опасных объектов, в том числе хранилища ОЯТ и РАО. В качестве источника дополнительных финансовых средств выступил Европейский банк реконструкции и развития.

В некоторых случаях эти задачи решаются комплексно, как например, в рамках мероприятия «Повышение радиационной безопасности объектов Российской академии наук». Использование объектов атомной энергии в научных учреждениях РАН имеет ряд существенных особенностей. Среди них:

- достаточно сложная, многомерная и многоуровневая организационная структура академии, сочетающая научно-отраслевой и территориальный принципы подчиненности;
- разбросанность объектов по большой территории — от Крайнего Севера (Мурманская область) до Юга страны (Дагестан) и от Санкт-Петербурга до Дальнего Востока (Приморье);
- существенная трансформация направлений и интенсивности исследований в последние 25 лет, в особенности с применением радиационных источников и, как следствие этого, дефицит финансового и кадрового обеспечения работ по обеспечению радиационной безопасности.

Существенно и то обстоятельство, что в большинстве организаций работа с радиационно опасными объектами является не профильной деятельностью, а лишь средством получения научного результата. Всего в РАН насчитывается более 70 различных учреждений, где при научных исследованиях использовались ранее или до сих пор применяются различные источники ионизирующего излучения — ускорители, ядерные реакторы, излучающая аппаратура, радиоактивные вещества широкого спектра активности, различного изотопного состава и в различных агрегатных состояниях активностью от десятков до миллиардов Бк. Суммарная активность

источников ионизирующего излучения в учреждениях РАН составляла на конец 2010 года более  $10^{16}$  Бк.

В период 2008–2012 годов в рамках мероприятия «Утилизация отработавших радиационных установок и радиационных источников повышенной активности в организациях Российской академии наук» были ликвидированы 322 радиационных источника. Работы по вывозу источников, дезактивации помещений лабораторий сопровождались разработкой общего плана работ. Для эффективного выполнения задач в области повышения ядерной и радиационной безопасности, в частности, определенных ФЦП ЯРБ, было выпущено специальное распоряжение Президиума РАН от 16.07.08 № 10143-485 о разработке Стратегического плана повышения радиационной безопасности на объектах РАН. Функции головного разработчика плана, также как и научного обеспечения работ, проводимых в рамках ФЦП ЯРБ на объектах РАН, были возложены на ИБРАЭ РАН. Опыт разработки подобных планов был накоплен в период 2004–2007 гг. при разработке СМП для обеспечения ядерной и радиационной безопасности при утилизации выведенных из эксплуатации объектов атомного флота на северо-западе России. Этот опыт оказался эффективно использованным и при разработке Стратегического плана повышения ядерной и радиационной безопасности объектов РАН. Коллективом разработчиков с привлечением представителей институтов РАН и членов Рабочей группы РАН, руководимой академиком Б.Ф.Мясоедовым, была выполнена большая и кропотливая работа, в результате которой:

- была собрана информация и проведен детальный анализ существующего состояния всех источников ядерной и радиационной опасности и систем обеспечения их безопасности на объектах РАН;
- была уточнена методология стратегического планирования применительно к особенностям объектов РАН;
- сформулированы и обоснованы конечные цели работ по повышению радиационной безопасности в целом и по каждому объекту, а также стратегии достижения этих целей;
- разработаны и взаимоувязаны дорожные карты (функциональные диаграммы) достижения конечных целей по каждой организации РАН и каждому объекту этих организаций, имеющему ИИИ;
- обоснованы приоритеты стратегического плана в целом и на каждом объекте;
- разработан календарный план работ, профили финансирования и сетевые графики (диаграммы Ганта) в отношении соответствующих объектов РАН на весь период действия СП, включающего срок действия ФЦП;
- сформированы предложения по срокам, объемам и источникам финансирования для 98 укрупненных проектов, составивших Программу повышения радиационной безопасности объектов РАН (ППРБ) (первоначально было идентифицировано 203 проекта).

Разработка Стратегического плана повышения радиационной безопасности на объектах РАН была завершена в 2011 году, после чего он был утвержден вице-президентом РАН Н.П. Лаверовым [11]. Вошедшая в него программа (ППРБ) на весьма длительный срок должна поддерживаться в актуальном состоянии и служить ориентиром при разработке годовых и иных планов в этой сфере деятельности, а также для принятия решений при выделении средств учреждениям РАН из различных источников.

В связи с актуальностью разработки общего стратегического планирования в сфере ЯРБ методология его разработки рассмотрена в данной главе более детально.



Ряд мероприятий ФЦП ЯРБ, имея неочевидные, в контексте повышения безопасности ядерно и радиационно опасных объектов, наименования решает именно эти задачи. Именно к таким мероприятиям относится мероприятие с названием «Создание 1-й очереди системы общесплавной канализации с отводом очищенных вод в левобережный канал федерального государственного унитарного предприятия «Производственное объединение «Маяк»».

Строительство системы общесплавной канализации входит в перечень мероприятий по стабилизации уровней воды в системе ТКВ (Теченского каскада водоемов) ФГУП ПО «Маяк», то есть относится к приоритетным мероприятиям программы. Система должна исключить поступление нерадиоактивных бытовых и дождевых стоков промышленной площадки в систему промышленных водоемов с отводом их в левобережный канал. Первая очередь включала работы по объединению отдельных выпусков в общую систему с устройством насосных станций, строительством очистных сооружений, организацию выпуска очищенных вод в левобережный канал; реконструкцию существующих магистральных сетей для оптимизации работы системы.

В 2010 году была введена в эксплуатацию 1-я очередь общесплавной канализации промышленной площадки предприятия. В том числе построены насосные станции (рис. 4.1.15), самотечные и напорные канализационные сети, очистные сооружения, включая приемную камеру, здание механических решеток, здание установок коагуляции, флотации и обеззараживания (рис. 4.1.16) и сбросной коллектор.

Всего из федерального бюджета на эту работу было выделено 0,5 млрд руб. Пуск очистных сооружений 1 очереди позволил отвести от Теченского каскада водоемов до 3500 тыс. куб. м в год нерадиоактивных стоков предприятия, что привело к повышению безопасности эксплуатации ТКВ (поддержание уровня воды в ТКВ ниже критических отметок).

Отметим, что это уже второе завершённое крупное мероприятие по повышению безопасности ТКВ. В декабре 2005 года руководство Росатома приняло решение о проведении неотложных работ по укреплению тела плотины П-11. В 2006-2007 годах была построена укрепляющая стенка, так называемая «стена в грунте», внутри всего тела плотины протяженностью 1,8 км и глубиной от 7 до 13 метров. После проведенных работ плотина соответствует I классу капитальности, что сравнимо по этому показателю с плотинами гидроэлектростанций и является уникальным явлением для



Рис. 4.1.15. Одна из пяти насосных станций системы общесплавной канализации



Рис. 4.1.16. Внутренний вид комплекса коагуляции, флотации и обеззараживания



грунтовых плотин. Таким образом, в обозримом будущем вопросы разрушения или деформации плотины полностью сняты.

#### 4.1.3. Реализация мероприятий ФЦП по созданию объектов обращения с РАО

Приоритетные мероприятия по созданию объектов обращения с РАО также локализованы на ФГУП «ПО «Маяк». Мероприятия взаимоувязаны в логике принципиального изменения экологического облика предприятия [12].

Мероприятие № 53. Создание комплекса цементирования жидких и гетерогенных среднеактивных отходов, включая проектно-изыскательские работы. Сооружение комплекса цементирования будет завершено в 2014 году (рис. 4.1.17). Цель создания комплекса — полное прекращение сбросов в промышленные водоемы-хранилища жидких САО радиохимического производства. Проектная производительность комплекса — до 5,5 тыс. м<sup>3</sup>/год. Емкость хранилища РАО — 28 тыс. кубометров. Технологическая схема комплекса включает усреднение всей номенклатуры перерабатываемых растворов; одностадийную упарку; цементирование и захоронение в хранилище приповерхностного типа по технологии «налива» в бетонные отсеки. Проверка технологии, конструкционных узлов и элементов оборудования проводилась на стендовых установках. В 2008 году получена лицензия Ростехнадзора на сооружение комплекса и начаты строительные работы по созданию объекта. В период 2008—2012 гг. на реализацию мероприятия из федерального бюджета было израсходовано 2,7 млрд руб. В работе принимали участие более 30 организаций.

Мероприятие № 54. Сооружение установки очистки вод спецканализации и вод, содержащих среднеактивные отходы химико-металлургического производства, включая проектно-изыскательские работы. Пуск в эксплуатацию установки очистки вод спецканализации позволит решить следующие задачи:

- прекращение сброса жидких НАО и САО в специальные промышленные водоемы ФГУП «ПО «Маяк» В-9, В-17, что позволит реализовать работы по консервации водоемов;
- очистка технологических среднеактивных жидких отходов завода;
- ликвидация жидких радиоактивных гидрошламовых пульп, образующихся при существующей схеме очистки вод спецканализации завода;
- осуществление углубленной очистки вод спецканализации с исключением образования жидких радиоактивных отходов.

Технология переработки и отверждения ЖРО была выбрана на основании результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, стендовых

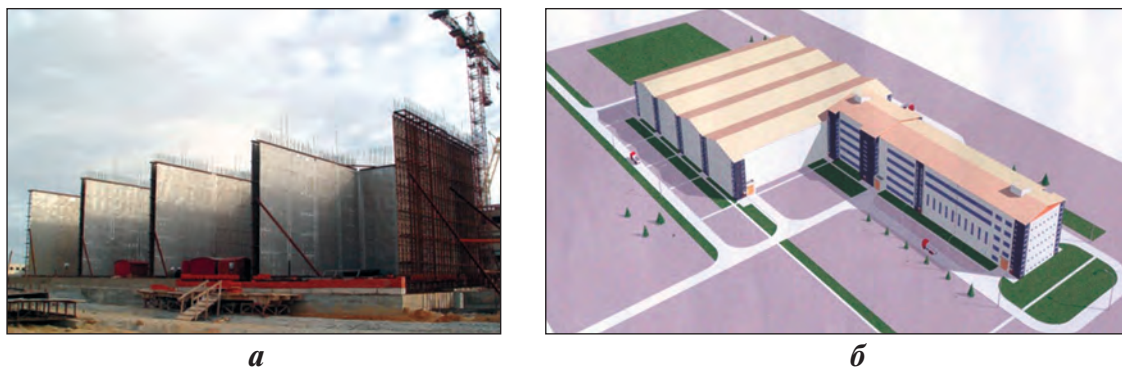


Рис. 4.1.17. а — строительство комплекса цементирования САО (2011 г.); б — его будущий вид

испытаний на реальных растворах. В результате переработки растворов будут образовываться кальцинаты, для которых предусмотрено хранение в специальных сооружениях. Проектная производительность установки — 150 тыс. куб. м в год по низкоактивным и 700 куб. м по среднеактивным отходам. Работы по сооружению установки выполняются с привлечением собственных средств предприятия. Внедрение данной технологии позволит полностью прекратить сбросы ЖРО химико-металлургического производства в водные объекты и классифицировать завод как современное экологически безопасное производство. В 2009 году уже прекращен сброс двух типов ЖРО химико-металлургического производства в водоемы В-9 и В-17. Всего на выполнение мероприятия в рамках Программы было выделено из федерального бюджета 1,1 млрд руб. Ввод в эксплуатацию объекта запланирован на начало 2013 года.

Мероприятие № 58. Сооружение установки очистки низкоактивных отходов, включая проектно-изыскательские работы, федерального государственного унитарного предприятия «Производственное объединение «Маяк» (г. Озерск, Челябинская область).

Целью создания установки очистки низкоактивных отходов является снижение приходной части водного баланса Теченского каскада водоемов путем сброса очищенной воды в открытую гидрографическую сеть. Исполнителем работ является ФГУП «ПО Маяк». В период 2008–2012 гг. на реализацию мероприятия из федерального бюджета было выделено 62,5 млн руб. За этот период на предприятии была создана и успешно прошла ресурсные испытания опытная установка очистки жидких НАО (рис. 4.1.18) и выданы исходные данные для создания промышленной установки. На опытной установке были отработаны технологии с использованием мембранно-сорбционной схемы очистки, включающей блоки ультрафильтрации, обратного осмоса и электроосмотического концентрирования. Отработан процесс глубокого концентрирования ЖРО до 100–300 г/л; разработана аппаратно-технологическая схема блока глубокого концентрирования отходов, сбора и хранения концентратов; разработана схема системы контроля, управления, сбора и обработки данных процессом глубокого концентрирования отходов, сбора и хранения концентратов.



Рис. 4.1.18. Внешний вид стендовой установки очистки НАО

К 2015 году планируется выполнить все проектные работы, включая разработку рабочей документации, пройти все разрешительные процедуры, включая получение лицензии на строительство и начать его. Сооружение установки будет завершено к 2020 году. Плановая проектная мощность – 5 куб. м/ч.

Мероприятием № 55 предусмотрено расширение здания для размещения электропечей и остеклованных высокоактивных РАО. Это новая печь производительностью 420 пеналов в год и хранилище остеклованных высокоактивных РАО на 2016 пеналов. Работы предусматривают создание к 2014 году всех компонент технологической схемы (рис. 4.1.19).

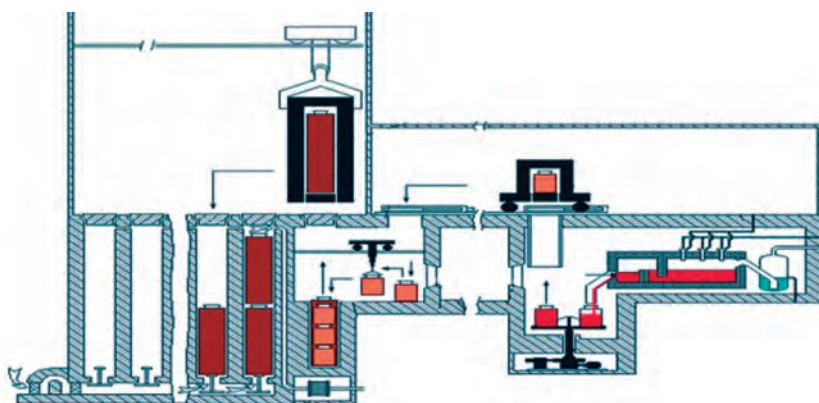


Рис. 4.1.19. Схема технологического процесса остекловывания ВАО и размещения на промежуточное хранение

Работами на площадке ФГУП «ПО «Маяк» деятельность по ФЦП ЯРБ в области обращения с РАО не ограничивается. Кратко рассмотрим некоторые из них.

Мероприятие № 38. К числу важных мероприятий по созданию и реконструкции объектов обращения с РАО, безусловно, следует отнести работы по созданию глубокого пункта захоронения в Красноярском крае.

Как и во многих других странах, процесс выбора места размещения пункта захоронения ВАО, развивается поэтапно [13]. Работы по Нижнеканскому массиву ведутся с начала 1990-х годов. Активное участие в поиске площадки приняли специалисты организаций Минатома России, в том числе ВНИПИПТ и Радиевого института [14, 15]. В 2005 году на основе их результатов была выделена площадка, по которой были признаны целесообразными детальные инженерно-геологические изыскания. Она расположена на участке «Енисейский» в 4 км от ГХК и 4,5 км от Енисея, в пределах ЗАТО Железнодорожска. Среди достоинств площадки были выделены устойчивость и относительная однородность гранитного блока размером 2,0×2,5 км и вертикальной мощностью более 4 км, его возраст (1,8 млрд лет) и возраст подземных вод (около 7 тыс. лет), отсутствие выраженных и контрастных геофизических аномалий, характер разломов, отсутствие тектонической активности на современном этапе, малая скорость вертикальных движений земной поверхности, низкая сейсмическая активность и ряд других.

В рамках ФЦП ЯРБ исследования на площадке получили ускорение. В 2008 году разработана и утверждена «Декларация о намерениях» строительства объекта окончательной подземной изоляции РАО [15]. С 2009 года ведется разработка «Обоснова-



ния инвестиций» на строительство объекта, в том числе «Оценки воздействия на окружающую среду» (ОВОС). В 2009–2010 годах на рекомендованной площадке проведены комплексные инженерно-геологические изыскания с использованием трех геологоразведочных скважин глубиной по 700 м. Результаты ранее выполненных исследований и данные изысканий 2009–2010 годов были представлены на экспертизу по «поисковой» стадии, по которой получено положительное экспертное заключение ФГУ «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых». Участок был в целом признан соответствующим рекомендациям МАГАТЭ и национальным требованиям (НП-055-04) и рекомендован для дальнейшего геологического изучения с целью окончательной оценки его пригодности для окончательной изоляции РАО. В заключении отмечено, что массив скальных пород на исследуемой площадке по изолирующим свойствам не уступает участкам в Швеции и Финляндии, где планируется соорудить подобные объекты. Изучение площадки и горного массива продолжаются. К началу 2011 года инженерно-геологические изыскания с отбором керна и полным комплексом геофизических и гидрогеологических исследований выполнены уже на 11 скважинах (семи глубиной по 600–700 м и четырех по 200 м). Проведены сейсмические исследования с поверхности и исследования напряженно-деформированного состояния массива пород в естественном состоянии на глубинах до 500 м. По их результатам определены характеристики горных пород, которые в целом благоприятны для продолжения дальнейших исследований.

Поэтапно прорабатывается облик будущего пункта захоронения (рис. 4.1.20). Однако технические решения по инженерным системам объекта в определенной мере вторичны по значимости. Для подобных объектов принципиально важна уверенность в изученности защитных свойств геологической среды. И здесь необходимо констатировать, что объем накопленных знаний по перспективной площадке непрерывно нарастает [16, 17]. Результаты работ известных геологов, геофизиков и гидрогеологов позво-

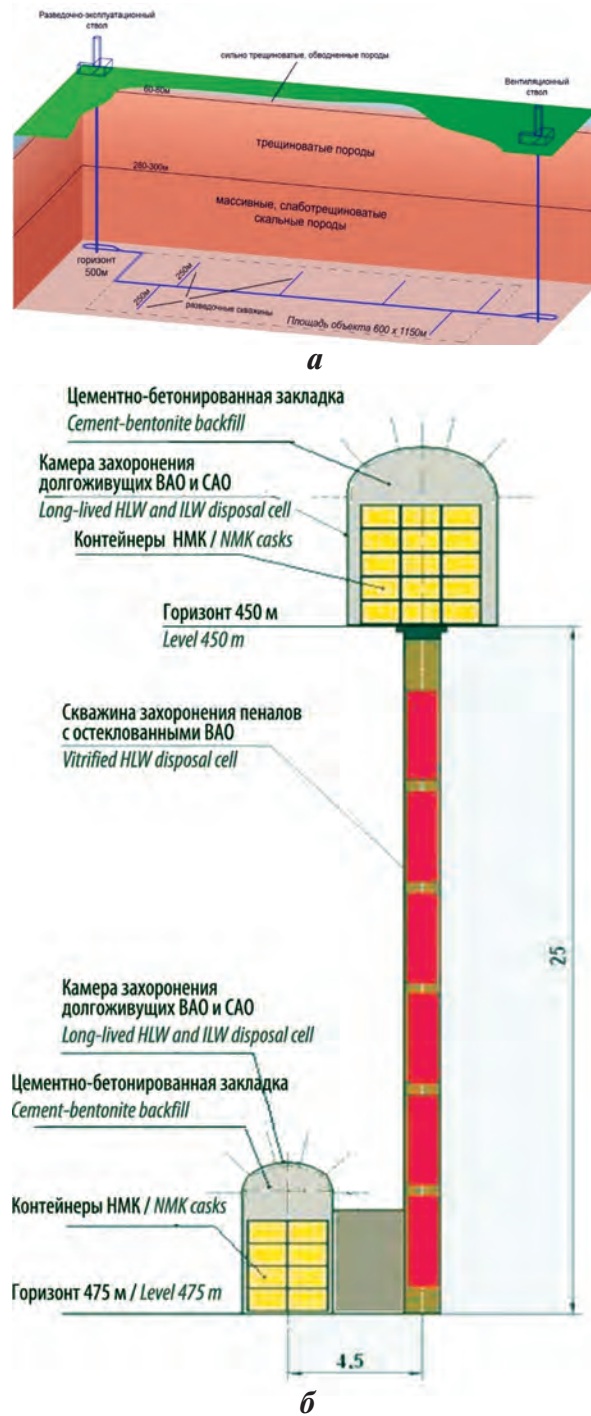


Рис. 4.1.20. Облик будущего пункта захоронения: а – схема подземной лаборатории; б – схема-разрез камер захоронения РАО



ляют все более оптимистично характеризовать возможность успешной реализации этого беспрецедентного по сложности обоснования безопасности проекта. Зарубежный опыт показывает, что любые недооценки рисков и недостатки обоснования безопасности могут обернуться временными и финансовыми потерями (США, Германия). Причем и те и другие масштабны: первые из них исчисляются десятилетием, а вторые суммами порядка 10 млрд долларов.

В целом мероприятия ФЦП ЯРБ в области обращения с РАО характеризуются двумя целевыми показателями программы:

- ввод в эксплуатацию мощностей хранилищ РАО;
- активность РАО, переведенных в экологически безопасное состояние.

Непосредственный вклад в наполнение этих показателей дают 78 практических мероприятий ФЦП ЯРБ.

Ввод в эксплуатацию мощностей хранилищ РАО зависит от успешной реализации 18 мероприятий, в 2012 году завершены 6 — переоборудовано временное хранилище ТРО на территории ОАО «ИТЭФ» в Москве и построены 5 новых хранилищ РАО на разных площадках ФГУП «РосРАО» (хранилище ТРО объемом 5000 м<sup>3</sup>, г. Саратов; хранилище для ТРО объемом 1340 м<sup>3</sup> с камерой перегрузки (перезарядки) мощностью 40 кг-эквивалент радия, г. Екатеринбург; хранилище ТРО, г. Соновый Бор, Ленинградская область; хранилище РАО наземного типа объемом 500 м<sup>3</sup>, г. Хабаровск; хранилище ТРО объемом 400 м<sup>3</sup>, г. Благовещенск, Республика Башкортостан).

Целевой показатель «активность РАО, переведенных в экологически безопасное состояние» был выбран не вполне удачно. Использованный целевой показатель не дает возможности оценить результаты большей части мероприятий, в рамках которых проводятся такие работы. Значения активности, изолированной в результате их реализации слишком малы в сравнении с активностью РАО сосредоточенных в отдельных объектах, например в водоеме В-9 (Карачай) на ФГУП «ПО «Маяк». Например, характерные значения по отдельным мероприятиям находятся на уровнях в 6–8 порядков активности сосредоточенной в водоеме В-9. Из 66 мероприятий только три дают весомый вклад в достижение данного показателя, доля остальных мероприятий незначительна. В будущем предстоит проработать вопрос по совершенствованию данного целевого показателя. Представляется целесообразным использование такого показателя, как объем услуг по захоронению. Он может исчисляться с учетом и объемов и потенциальной опасности захороненных отходов, стоимость предотвращения которой отражает тариф на захоронение. В части учета работ по особым РАО, по видимому, единственным решением будет учет количества пунктов размещения РАО переведенных в статус пункта консервации особых РАО или пункта захоронения особых РАО.

В настоящее время к наиболее крупным работам ФЦП ЯРБ, направленным на повышение экологической безопасности накопленных РАО, относятся мероприятия по консервации приповерхностных хранилищ ЖРО и реконструкции полигонов захоронения ЖРО на ГХК, СХК и НИИАР. Вопросы консервации приповерхностных хранилищ ЖРО будут рассмотрены более подробно в следующем разделе. Отметим только, что этим работам должно предшествовать их исключение из действующих технологических схем по обращению с РАО. Зачастую это связано с созданием крупных мощностей по переработке и отверждению РАО, очистки вод от ЖРО. Именно такой процесс идет на ФГУП ПО «Маяк». По его завершению станет возможным закрытие таким приповерхностных хранилищ ЖРО, как В-9 и В-17. В отношении водо-

ема В-9 работы по закрытию акватории планируется завершить в 2015 году, в случае если не будет форс-мажорных климатических обстоятельств типа сверхвысокой водности. В настоящее время в рамках мероприятия ФЦП идут подготовительные работы — планировка рельефа южной части территории и полигона захоронения древесных остатков, сооружение водоотводящего нагорного канала, строительство насосной станции, подготовка к добыче камня и грунтов для засыпки.

#### 4.2. Консервация приповерхностных хранилищ ЖРО

Принятая в начальный период работы комбинатов по производству оружейных материалов схема обращения с ЖРО с использованием различного рода бассейнов, пульпохранилищ и искусственных водоемов давала определенные преимущества в виде возможности быстрого наращивания объемов производств [2], а в случае ПО «Маяк» и явные преимущества в защите населения в сравнении со сбросами в р. Теча [20]. Одновременно она несла и определенные риски в обеспечении радиационной безопасности населения и объектов живой природы. Примеры реализации таких рисков уже были. В 1967 году произошел ветровой подъем и перенос загрязненных радионуклидами аэрозолей с обнажившихся после засухи берегов озера Карачай. Суммарная активность разнесенных радиоактивных аэрозолей составила около  $2,2 \cdot 10^{13}$  Бк. Дополнительное загрязнение регистрировалось на расстояниях до 75 км от водоема [2]. С современных позиций подобные риски представляются мало приемлемыми. Для полной ликвидации этих угроз необходимо было вывести все открытые хранилища из эксплуатации и надежно изолировать их от окружающей среды. Вывод из эксплуатации подразумевает прекращение сбросов ЖРО в открытые водоемы, то есть модернизацию системы обращения с ЖРО на предприятиях. Изоляция накопленных ЖРО означает создание условий для длительного контролируемого и безопасного хранения (консервации) ЖРО, разработку решений по радиационной реабилитации акватории и прилегающих территорий и перевод объекта в категорию приповерхностных могильников.

Всего на ПО «Маяк» в технологических цепочках обращения ЖРО используется два природных водоема В-2 и В-6 и три специально созданных объекта — водоемы В-9 (озеро Карачай), В-17 (Старое Болото) и водоемы ТКВ (В-3, В-4, В-10 и В-11). На СКХ было создано семь специальных водоемов, на ГХК — четыре. В отношении 11 из таких объектов (табл. 4.2.1) наиболее рациональным заключительным этапом жизненного цикла представляется консервация. По ряду объектов были предусмотрены мероприятия ФЦП ЯРБ.

Подготовка к консервации представляет собой длительный процесс, включающий меры по исключению объекта из технологических цепочек, КИРО и разработку проекта консервации, прохождение необходимых экспертиз и получение лицензии. Собственно консервация, то есть преобразование объекта в приповерхностное хранилище отходов с фиксированными временными параметрами обеспечения безопасности, также предусматривает этапность.

Работы по консервации водоема включают засыпку акватории с целью локализации радиоактивных донных отложений и обеспечение безопасности протекания физико-химических процессов, таких как разогрев осадков с возможностью взрыва ацетатно-нитратной смеси, выделение водорода при радиолизе, капиллярный подъем радионуклидов в слое засыпки, газовыделение осадков за счет деятельности микроорганизмов и др. После засыпки хранилище выдерживают в течение 5–10 лет для ес-

## Промышленные водоемы, планирующихся к консервации

Организация	Водоем	Содержание мероприятий ФЦП ЯРБ
ПО «Маяк»	В-9 В-17	Практические работы Подготовительные работы по закрытию акватории
СХК	ПХ-1 ПХ-2 Б-1 Б-2 Б-25	Разработка плана консервации Разработка плана консервации Практические работы Практические работы Практические работы
ГХК	Бассейн 354 Бассейн 354а Бассейн 365 Бассейн 366	Практические работы Подготовка к выводу из эксплуатации Разработка проектной документации Подготовка к выводу из эксплуатации

тественной усадки грунта. Затем формируют сверху защитный глиняный экран, препятствующий выходу радионуклидов вверх, реабилитируют территорию, создают соответствующую систему мониторинга.

Подготовительные и смежные, обуславливающие возможность закрытия водоемов, мероприятия на ФГУП «ПО Маяк» были описаны ранее. Кратко рассмотрим ход работ по ликвидации бассейнов на ФГУП «ГХК» и ОАО «СХК».

На ГХК в 1978 году был прекращен сброс технологических растворов в бассейн-354 в связи с накоплением в нем большого количества донных отложений. Был подготовлен проект консервации и перевода в категорию могильника ТРО. Однако практические работы также растянулись на годы.

На СХК в 1982 году был прекращен сброс ЖРО в бассейны Б-1 и Б-2 и принято решение о консервации этих бассейнов. Однако работы по консервации бассейнов также растянулись на много лет из-за недофинансирования. Работы по засыпке Б-2 начались только в феврале 1991 года и продолжались 10 лет. С 2001 по 2006 год проводилась выдержка засыпанного бассейна. В 2006 году начался третий этап консервации Б-2, связанный с формированием глиняного экрана и реабилитацией территории.

Реализация ФЦП ЯРБ позволила форсировать опытные работы по решению технологических задач, связанных с очисткой и отверждением средне- и низкоактивных ЖРО, и работы по консервации хранилищ на всех трех комбинатах.

В 2008 году были завершены работы по консервации Бассейн-354 на ГХК. Его акватория была засыпана скальным грунтом, что способствовало улучшению экологической обстановки в прилегающих районах [2].

В 2008–2012 гг. в рамках мероприятий ФЦП ЯРБ [рис. 4.3.1] были доработаны технические решения по консервации Б-2 на СХК. Разобрана обваловка бассейна и проведено устройство верхнего глиняного экрана с защитой его песчаным грунтом и плодородной почвой. Территория общей площадью 83,3 тыс. кв. м была обработана гербицидами и засеяна многолетними травами. Устроена дренажная система, установлены 25 газоотводных труб, построена бокс-стоянка на 5 единиц спецтехники. В

2012 году работы по консервации Б-2 были полностью завершены [18]. Исходное и конечное состояния бассейна показаны на фотографиях и схемах (рис. 4.2.1, 4.2.2).

После консервации Б-2 многократно снизился гамма-фон на территории хранилища. До начала работ, гамма-фон в центре бассейна достигал значений до 300 000 мкР/ч. В 2012 году, после завершения работ, значения мощности дозы в центре бассейна снизились до 40 мкР/ч. Дозы облучения персонала на всех этапах работ не превысили 1 мЗв/год. Самосвалы, бульдозеры и другая спецтехника, используемая для засыпки акватории грунтом, были оборудованы свинцовой защитой. Организован мониторинг безопасного состояния законсервированного объекта. Из сети наблюдательных скважин отбираются пробы на радиохимический анализ, контролируется уровень грунтовых вод и качество воды из верхнего и нижнего водоносных горизонтов.

С 2011 года в рамках ФЦП ЯРБ ведутся работы по консервации бассейна Б-1. В 2011–2012 годах были устроены семь дамб, проведена иммобилизация пульпы шнекороторной техникой, сооружены 2 дренажных колодца, построена насосная станция, противопожарная станция, участок отмывки и бокс-стоянка для спецтехники и другие объекты. Окончательная консервация Б-1 должна быть завершена в 2015 году.

Создание верхнего изоляционного экрана зачастую является сложной задачей. Для акватории водоема В-9, например, планируется применение перекрытия 5 слоями разных типов грунтов общей толщиной не менее 3,5 м. Однако в ряде случаев еще сложнее предотвратить распространение загрязнений с подземными водами. Одним из наиболее эффективных способов решения этой проблемы является создание вокруг них дополнительных защитных барьеров. Защитные барьеры бывают противодиффузионными, которые ограничивают скорость движения загрязненного потока или изменяющие направление его движения, и противомиграционными, которые ограничивают распространение радионуклидов и токсичных компонентов за счет использования материалов с высокой сорбционной способностью. Выбор типа и способа сооружения дополнительного защитного барьера зависит от конкретной ситуации, характера источника загрязнения, геолого-гидрологических условий на участке постановки барьера.

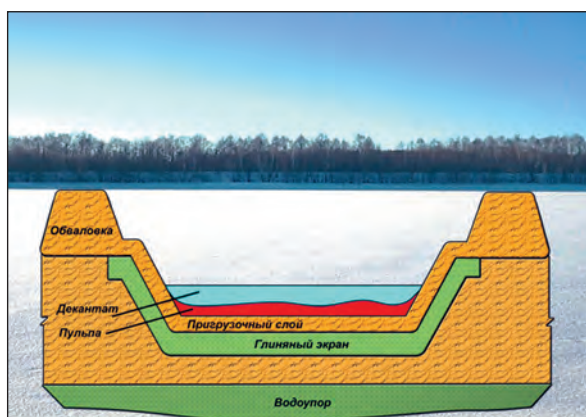


Рис. 4.2.1. Состояние бассейна Б-2 до начала работ по консервации

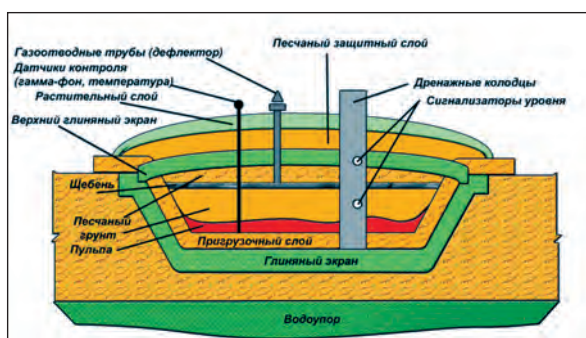


Рис. 4.2.2. Состояние бассейна Б-2 после консервации



Весьма ценный опыт создания внешних барьеров безопасности накоплен на ОАО «СХК» при активном участии ученых ИФХЭ РАН. Применение известных способов, таких как стена в грунте или замораживание грунтов, было признано нецелесообразным для условий СХК, где превалируют песчано-суглинистые обводненные грунты. Наиболее перспективными были признаны барьеры, обладающие как противодиффузионными, так и противомиграционными свойствами. Для их сооружения используют инъекционные скважины, в которые нагнетают композиции, самополимеризующиеся в зоне создания барьера. Геолого-гидрологические условия в этой зоне определяют состав композиции и технологию ее иньектирования. На первом этапе работ на опытном участке была показана возможность создания противодиффузионных экранов в условиях типичных для СХК песчано-глинистых пород, но применявшийся барьерный материал на основе нефелина имел существенные недостатки.

Новый химический состав барьерного материала и технология постановки барьеров для наземных хранилищ СХК были разработаны в рамках ФЦП ЯРБ в 2009–2011 гг. [19]. Оптимальной для СХК оказалась композиция, содержащая силикат натрия, частично гидролизованное соединение алюминия, щавелевую кислоту и сорбционные добавки. Соотношение компонентов подобрано таким образом, чтобы время начала полимеризации наступало через 12–16 часов после приготовления гелеобразующего раствора. Одно из главных достоинств композиции – низкие значения плотности и вязкости композиции, приближающиеся к величинам, характерным для воды. Это позволяет увеличить объем закрепляемого грунта и уменьшить количество инъекционных скважин.

Опытный барьер безопасности был сооружен на бассейне Б-25. Под ним находится горизонт водонасыщенных песков, который на глубине 9,5–10 м подстилается текучепластичными суглинками. Вблизи бассейна были пробурены 220 инъекционных скважин. Гелеобразующий раствор вводился через скважины при небольшом избыточном давлении для предотвращения гидроразрыва пласта. После закачки 904 м<sup>3</sup> гелеобразующего раствора инъекционные скважины были ликвидированы путем засыпки в стволы местного грунта, смешанного с гелеобразующим раствором. В результате в первом от поверхности водоносном горизонте образовался П-образный барьер длиной 320 м. Георадарное обследование показало, что мощность созданного барьера безопасности изменяется от 8 м в западной части по потоку подземных вод до 5 м в северной и южной частях, параллельных потоку подземных вод. Барьер имеет высокую однородность в центральных и средних частях и неоднородную пропитку горизонта по краям.

В центральной и средней частях барьера коэффициент фильтрации водоносного горизонта, по которому происходит миграция радиоактивного загрязнения, оказался пониженным в 10 000 раз, в краевых частях барьера – в 1000 раз. Результаты компьютерного моделирования долговременных последствий эксплуатации бассейна Б-25 показали, что при сооружении внешнего барьера безопасности даже нитрат-ионы практически не выйдут за пределы барьера за счет его противодиффузионных свойств. Без сооружения внешнего барьера безопасности через 300 лет после консервации бассейна прогнозировалось, что актиниды могут оказаться в подземных водах в концентрациях, превышающих уровень вмешательства на расстоянии 340 м вниз по потоку подземных вод. При сооружении барьера с полученными характеристиками актиниды за этот период не выйдут за его пределы за счет противомиграционных свойств барьера (рис. 4.2.3). Этого не произойдет даже в случае увеличения диффузионных характеристик барьера на порядок.

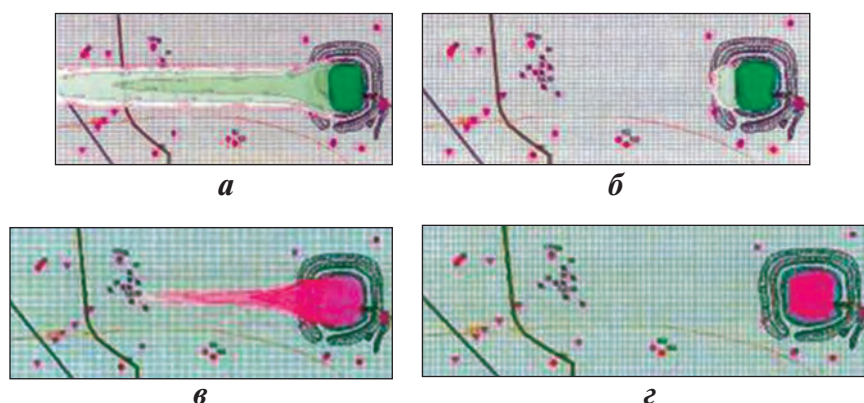


Рис. 4.2.3. Результаты математического моделирования распределения через 300 лет нитратов (а, б) и актинидов (в, г) без постановки внешнего барьера (а, в) и с внешним барьером безопасности (б, г)

Близкий по методологии, но несколько отличающийся по технологии комплекс опытных работ был реализован и на ФГУП «ПО «Маяк» — решалась задача снижения проницаемости барьеров между обводным каналом и водоемом В-11 ТКВ.

Таким образом, в задаче консервации водоемов-хранилищ РАО накоплен необходимый научно-методический и практический опыт, который позволяет прогнозировать ее успешное решение. Сроки возможного решения задачи по каждому из водоемов лежат в диапазоне 5–10 лет после исключения водоема из действующего технологического цикла. Исключение составляет ТКВ.

#### 4.3. Теченский каскад водоемов

В силу многих обстоятельств, главным из которых являлось загрязнение р. Теча [20], в период с конца 90-х годов прошлого века проблема обеспечения безопасности Теченского каскада водоемов рассматривалась в качестве одной из центральных проблем ядерного наследия ПО «Маяк» и России в целом. Наибольшую угрозу представляло переполнение водоемов ТКВ с развитием гидродинамической аварии на замыкающей плотине каскада. Несмотря на относительно низкие концентрации и общий объем накопленной активности, подобные риски были признаны на уровне отрасли абсолютно неприемлемыми.

Уже к 2004 году был понятен и стал реализовываться комплекс мер, направленных на улучшение водного баланса водоема. За пять лет реализации ФЦП ЯРБ (2008–2012 гг.) в рамках мероприятий программы и за счет средств ФГУП «ПО «Маяк» выполнен комплекс практических работ по повышению безопасности ТКВ. За счет организации рационального водопользования уменьшены сбросы в ТКВ, усилена система мониторинга безопасности, укреплена замыкающая плотина водоема В-11, расширены и реконструированы обводные каналы, отработаны технологии их изоляции, введена в строй первая и сооружается вторая очередь общесплавной канализации, комплекс очистки низкоактивных ЖРО. Снижение приходной составляющей водного баланса ТКВ в итоге превысит 5 млн м<sup>3</sup>, что позволит стабилизировать водный режим и эксплуатировать водоем на безопасных отметках. В 2010 году ТКВ приобрел статус объекта использования атомной энергии как поверхностного водоема-хранилища ЖРО, для которого установлены значения допустимого поступления радиоактивных веществ в р. Теча. Таким образом, высокие риски для населения и окружающей среды, связанные с состоянием ТКВ, удалось существенно снизить.

В отличие от иных промышленных водоемов консервация ТКВ с закрытием акватории, удалением или очисткой 360 млн кубометров загрязненных вод, оценивается как малореальная. Суммарные затраты на подобный комплекс работ превышают 200 млрд руб., в то время как максимальная величина ущерба измеряется величиной порядка 50 млрд руб. В этом смысле реализуемый комплекс мероприятий, предусматривающий общий объем финансирования работ на сумму 2,5 млрд руб. (в рамках ФЦП ЯРБ за весь период) представляется весьма эффективным. То есть, затраченные государством средства окупятся минимум 20 раз. Следует отметить, что это среднесрочные оценки, ориентированные на относительно небольшой временной диапазон продолжительностью 10–20 лет. Это обстоятельство понималось при формировании ФЦП ЯРБ, следствием чего явилось включение в программу НИОКР по разработке системы мер по долгосрочному управлению состоянием ТКВ в диапазоне возможного изменения всех ключевых параметров.

В рамках этой работы уже в 2008–2010 годах был систематизирован и обобщен беспрецедентно большой объем данных, включая данные 60-летних метеорологических наблюдений, наблюдений за водно-химическим и гидрогеологическим режимом ТКВ. Одновременно проводились работы по уточнению всех составляющих водного баланса системы, развитию и верификации необходимых расчетных моделей, проверке технологий очистки загрязненных вод. Несмотря на нереальность очистки ТКВ в целом, в рамках поиска стратегических решений рассматривалась возможность создания комплекса очистки производительностью 10 млн. куб. м/год для целей предупреждения роста уровня воды в условиях высокой водности.

Уже к концу 2010 года в результате выполненных практических и исследовательских работ была выработана новая, более оптимистичная платформа для оценки перспектив обеспечения безопасности водоема [21], а исследования в области разработки механизмов реализации долгосрочной стратегии сконцентрировались на трех направлениях:

- управление уровнем замыкающего каскад водоема В-11;
- управление технологическими и нетехнологическими сбросами ЖРО;
- разработка системы обоснования, координации и поддержки принятия управленческих решений.

### ***Управление уровнем водоема В-11***

Сбрасывать излишки воды из ТКВ в открытую гидрографическую сеть нельзя из-за достаточно высокого содержания в ней радиоактивных веществ и существования законодательного запрета на сброс ЖРО в открытую гидрографическую сеть. Заметим, что не совсем удачный (см. более подробно в приложении 1) вариант санитарного регулирования в области критериев отнесения к ЖРО в перспективе снимал это ограничение. Вариант очистки, как уже отмечалось, дорог и рассматривался только как временная, предупредительная мера. В качестве основного варианта снижения уровня всегда рассматривалось увеличение интенсивности испарения воды водоемов В-10 и В-11.

В 1980–90-х годах планировалось использовать ТКВ для охлаждения реакторов Южно-Уральской АЭС. Первое решение о строительстве ЮУАЭС было принято в 1984 году. В 1992 году строительство АЭС было остановлено в основном по причинам экономического характера. При попытке возобновить строительство через несколько лет возникли проблемы, связанные с начальным этапом развития экологического

движения [22]. Для того периода была характерна категоричность суждений. Экологические эксперты, например, давали такую оценку представленному на экспертизу проекту ЮУАЭС: «в нем (*проекте*) содержатся грубые методологические ошибки и не имеющие научного обоснования утверждения о возможности решения посредством АЭС неотложных экологических задач. Проведенная экспертная оценка показала научную несостоятельность и практическую неосуществимость подобных утверждений. В силу указанных причин проект строительства АЭС должен быть отклонен» [23].

К идее возобновления строительства ЮУАЭС вернулись в 2006 году, когда энергодефицит Челябинской области стал объективным фактором. Созданная Росатомом специальная рабочая группа пришла к выводу, что размещение на ТКВ унифицированных энергоблоков АЭС-2006 с реакторной установкой ВВЭР-1150 нецелесообразно [24]. Для таких необычных условий (охлаждающая вода — жидкие радиоактивные отходы) потребуются разработка серьезных и новых по отношению к унифицированному энергоблоку АЭС-2006 специальных проектных решений и реализация специальных организационно-технических мероприятий на стадии строительства и эксплуатации АЭС. Необходима также разработка специфической нормативной правовой базы по вопросам обеспечения и регулирования безопасности.

Сейчас, спустя еще 6 лет, ситуация выглядит уже иначе. Изменились цели. В 2006 году главным было снижение уровня воды в ТКВ до отметок, которые считаются приемлемыми по параметрам безопасности ТКВ. Среди этих параметров — поступление радиоактивных веществ в р. Теча, устойчивость гидротехнических сооружений. Получение электроэнергии от АЭС рассматривалось как дополнительный эффект. При этом окончательное решение проблем ТКВ откладывалось на длительный период и перекладывалось на последующие поколения [24]. В 2012 году управление уровнем ТКВ имеет примерно такой же приоритет, как задачи развития предприятия и устранение энергодефицита в Южно-Уральском регионе. Окончательное решение проблем ТКВ теперь связано с его переводом в режим активного управления, что, в свою очередь, подразумевает использование мощного техногенного источника водопонижения [21].

В 2006 году предполагалось, что эксплуатировать ЮУАЭС будет Концерн «Росэнергоатом». Предлагаемая сейчас к строительству многоцелевая энергетическая реакторная установка не будет серийным объектом, эксплуатировать ее будет ФГУП «ПО «Маяк». Кроме того, за прошедшие годы была разрешена нормативно-правовая коллизия, связанная со статусом ТКВ. Если ранее в отношении ТКВ использовался законодательно не существующий термин «специальные промышленные водоемы», то теперь Теченский каскад имеет статус объекта использования атомной энергии.

Выполненные в течение 2011-2012 гг. технико-экономические исследования возможности и целесообразности размещения энергетической реакторной установки на ТКВ показали, что принципиальные негативные моменты, которые были зафиксированы рабочей группой по возможности строительства на ТКВ ЮУАЭС в 2006 г., в настоящее время более не являются непреодолимым препятствием технического или нормативно-правового характера, хотя, безусловно, потребуют определенных (и местами существенных) усилий (табл. 4.3.1). Размещение на ТКВ энергетической реакторной установки не только не ухудшит состояние объекта, а, напротив, будет способствовать скорейшему решению проблемы путем управления уровнем водоема, прогнозируемого изменения водно-химического режима и не приведет к увеличению концентрации радиоактивности в воде водоемов.



Таблица 4.3.1

## Анализ различных аспектов сооружения энергетической реакторной установки на ТКВ и озере Иртыш

Фактор риска	Результат проработки вопроса
<p>1</p> <p>Водообеспечение энергетической реакторной установки при ее размещении на В-10</p>	<p>2</p> <p>При размещении энергетической реакторной установки на ТКВ она будет полностью обеспечена водными ресурсами без необходимости переборки воды из Долгобордского либо Суоямского водохранилищ и использования чистой воды озера Иртыш.</p> <p>Выполненные расчеты показали, что возможные к использованию свободные водные ресурсы Иртышско-Каслинской системы озер, озера Бердяниш, ТКВ и реки Теча составляют 92,941 млн м<sup>3</sup> на современном уровне; 78,057 млн м<sup>3</sup> — на перспективу. При этом установлено, что:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• При гарантированной полезной водоотдаче Иртышско-Каслинской системы озер обеспеченностью 95% в объеме 78,3 млн м<sup>3</sup>/год суммарный объем свободных водных ресурсов в водоемах В-5 и В-1 на современном уровне составляет 37,952 млн м<sup>3</sup>, на перспективу снижается до 24,068 млн м<sup>3</sup>.</li> <li>• Гарантированные водные ресурсы озера Бердяниш незначительны и составляют 0,560 млн м<sup>3</sup>.</li> <li>• По предварительной оценке, гарантированная полезная водоотдача р. Теча (ниже устья р. Зюзелга) составляет 15,0 млн м<sup>3</sup>.</li> <li>• Объем воды, отводимой по ЛБК и ПБК — 22 и 8 млн м<sup>3</sup>/год соответственно.</li> <li>• Избыточные объемы воды водоема В-11 — 10,0 млн м<sup>3</sup>/год.</li> </ul> <p>При этом необходимо иметь в виду, что:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Максимальные потери на испарение для одного блока мощностью 1200 МВт (эл.) не превышают 15 млн м<sup>3</sup>/год.</li> <li>• Водобалансовые расчеты по возможному изъятию водных ресурсов из водоема В-11 показали, что: при заборе воды в объеме 10,0 млн м<sup>3</sup>/год водоем В-11 срабатывается до минимально допустимого уровня (Н = 212,30 м БС, объем — 84,0 млн м<sup>3</sup>) за 19 лет, в объеме 5,0 млн м<sup>3</sup> — за 33 года.</li> </ul> <p>Последний тезис заставляет по-новому взглянуть на перспективы использования установки очистки воды ТКВ мощностью до 10 млн. м<sup>3</sup>/год по чистой воде как элемента управления уровнем воды водоема В-11</p>
<p>Последствия использования градирен для энергетической реакторной установки на озере Иртыш</p> <p>Влияние энергетической реакторной установки, при ее размещении на ТКВ, на солевой баланс водоемов как характеристики, влияющей на температурный режим естественной дезактивации водоемов</p>	<p>Эксплуатация градирен ЮУАЭС с двумя блоками мощностью 1200 МВт (эл.) при ее размещении на озере Иртыш не окажет значимого влияния на водный баланс ТКВ. Объем дополнительных поступлений воды в ТКВ даже в чрезвычайных консервативных предположениях не превысит 1,6 млн м<sup>3</sup>/год. Наиболее вероятное значение — порядка 0,2 млн м<sup>3</sup>/год</p> <p>Даже для наилучших условий эксплуатации ТКВ с точки зрения влияния на солевой баланс (водность и фильтрация — минимальны, дополнительное испарение и переток — максимальны) на каскаде можно разместить энергетический источник общей мощностью не менее 3800 МВт (эл.) без ухудшения ситуации по солям.</p> <p>Вне зависимости от разумной мощности источника (до 6 энергоблоков мощностью 1200 МВт (эл.)) максимальное изменение солевого содержания (увеличение или уменьшение) при различных сочетаниях водности, фильтрации, перетока и дополнительных испарений не превысит 100%. То есть, влияние энергетической реакторной установки на солевой баланс ТКВ практически отсутствует</p>

Таблица 4.3.1. Продолжение

1	2
<p>Радиационная безопасность персонала при сооружении и эксплуатации энергетического источника на В-10</p>	<p>При проведении работ на берегу водоема и выполнении подводных работ без взмучивания донных отложений доза облучения персонала будет значительно (от нескольких раз до порядка величины) ниже фоновых значений.                      При проведении водозащитных работ в условиях взмучивания, а также при нахождении вблизи (менее 1 м) от пульпопроводов да земнаряда значения мощности дозы составят порядка 350 мкЗв/ч и 210 мкЗв/ч соответственно, что необходимо учитывать при планировании графика работ.                      Мощность дозы вблизи конденсаторов турбин примерно в 2 раза меньше нормативного значения для помещений временного (850 ч/год) пребывания персонала группы А (ОСПОРБ-99/2010).                      Полученные значения мощностей доз являются оценочными величинами, поскольку требуется проведение гораздо более детальных исследований для определения удельной мощности источников излучения (главным образом – вода и донные отложения)</p>
<p>Анализ эффектов, связанных с забором и сбросом охлаждающей воды</p>	<p>В части эффектов, связанных с забором и сбросом охлаждающей воды при размещении на ТКВ энергетической установки, рассмотрены проблемы дополнительного поступления взвесей, содержащих радиоактивные вещества, в технологический контур и, следовательно, возможного ухудшения радиационной обстановки. Серией расчетов и экспериментов показано, что появление дополнительного (к ветро-волновым нагрузкам) источника взмучивания – циркуляционных потоков – значимого негативного воздействия не окажет.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Сравнение расчетных и экспериментальных значений содержания взвешенных частиц в воде водоема В-10 в теплый и холодный сезоны показало удовлетворительное совпадение результатов с учетом имеющихся погрешностей измерения и консерватизма расчетных методик.</li> <li>● Первые были проведены экспериментальные исследования мутности водоема В-10. Полученные значения (10–15 мг/л) демонстрируют сходство с водоемом В-2, для которого имеется положительный опыт эксплуатации промышленных ректоров. Большинство поднятых циркуляционным потоком частиц успеет осесть на пути от точки сброса к точке забора воды</li> </ul>
<p>Последствия теплового воздействия энергетической реакторной установки</p>	<p>Последствия теплового воздействия энергетической реакторной установки на водоемы В-10 и В-11 минимальны. Ожидаемый рост температуры в воде В-10 составит величину порядка 2–4 °С. При этом:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Изменением коэффициента распределения в системе «вода–взвесь» с практической точки зрения можно пренебречь.</li> <li>● Изменения, связанные с биопродуктивностью, не будут выходить за рамки, характерные для стоячих водоемов данной географической зоны. Соответственно, проблем с кольматацией дна также не ожидается.</li> <li>● Дополнительное испарение будет компенсировано подпиткой, резервы для которой имеются в полном объеме</li> </ul>
<p>Нормативно-правовые аспекты сооружения энергетической реакторной установки на ТКВ</p>	<p>Факт размещения на ТКВ энергетической реакторной установки может соответствовать всем требованиям [9], если удельная активность <sup>90</sup>Sr в сбросной воде АЭС будет ниже границы отнесения жидких отходов к РАО.                      Для снятия наиболее острых несоответствий требованиям СП АС-03 [10] необходимо проработать вопрос внесения изменений в пункты 4.2.2 и 13.7 этого документа</p>
<p>Экономические оценки целесообразности размещения энергетической реакторной установки на ТКВ</p>	<p>Укрупненные экономические оценки показывают, что вариант строительства энергетической реакторной установки на ТКВ позволит сэкономить более 20 млрд руб. по сравнению с вариантом строительства ЮУрАЭС на озере Иртыш</p>

При этом необходимо предусмотреть работы по оценке влияния уровня водоемов ТКВ на состояние других объектов (поверхностные водоемы-хранилища ЖРО; грунтовые могильники; промышленные уран-графитовые реакторы; загрязненные радиоактивными веществами промышленные здания и сооружения и др.).

### ***Управление сбросами ЖРО в ТКВ***

Помимо водного баланса ключевой проблемой ТКВ является загрязнение воды и донных отложений, определяющее период потенциальной опасности этого объекта. Радионуклиды поступают в ТКВ с технологическими и нетехнологическим потоками. К 2018 году технологические сбросы в ТКВ будут полностью прекращены – практически для каждого завода в рамках ФЦП ЯРБ проектируются и разрабатываются установки очистки ЖРО.

Например, в 2009–2010 гг. были проведены опытно-промышленные испытания мембранно-сорбционной очистки растворов низкого уровня активности (НАО), поступающих из радиохимического, радиоизотопного и реакторного производств [26].

Поступающие в ТКВ нетехнологические потоки ЖРО формируются из хозяйственно-бытовых стоков, отводимых общесплавной канализацией и формирующих основной поток по объему воды, и дренажных и грунтовых вод (ДГВ) радиохимического производства, в которых сосредоточена наибольшая активность. В настоящее время поток ДГВ в водоемы ТКВ является главным препятствием для активного развития процессов самоочищения водоемов.

В 2012 г. была начата разработка опытной установки очистки ДГВ. К настоящему времени проведены демонстрационные испытания технологии и самой установки. Показано, что последовательная очистка ДГВ методами химической обработки, ультрафильтрации, нанофильтрации и ионного обмена позволяет снизить активность в 400–500 раз вплоть до уровня промышленных отходов, загрязненных техногенными радионуклидами. Эффективность химической обработки и ультрафильтрации оказалась очень высокой, показатели нанофильтрации были средними. Ионообменная очистка была признана нецелесообразной из-за ее низкой эффективности. Следующим шагом будет оптимизация технологических режимов и окончательный вывод о целесообразности проведения нанофильтрации. Параллельно с разработкой технологии очистки ведется проработка вопросов по сокращению объемов образования ДГВ (например, снижение дебита скважин за счет повышения верхних уровней откачки).

### ***Разработка системы обоснования, координации и поддержки принятия решений***

Для перевода ТКВ в режим активного управления в рамках ФЦП ЯРБ разрабатывается Стратегический мастер-план (СМП) – основополагающий документ, в котором будет представлена обоснованная и согласованная со всеми заинтересованными сторонами позиция по долгосрочной безопасности ТКВ. СМП разрабатывается с учетом влияния на состояние ТКВ различных проектных и конструкторских решений, направленных на устранение отдельных факторов опасности, а также перспектив развития ПО «Маяк» в целом.

В принципе могут рассматриваться два базовых варианта стратегии управления ТКВ. Первый вариант – максимально быстрое снятие ТКВ с регулирующего контроля в соответствии с действующей на ПО «Маяк» концепцией вывода из эксплуатации

объектов ядерного наследия. Вторым вариантом — максимально долгое использование ТКВ для нужд предприятия с гарантированным обеспечением безопасности. Возможны также комбинированные варианты, когда из-под регулирующего контроля выводится только часть ТКВ, например, только водная фаза.

При выборе стратегической цели необходимо учитывать практическую достижимость соответствующих критериев. Пример определения стратегических целей и критериев их достижения приведен ниже (табл. 4.3.2).

Таблица 4.3.2

**Пример стратегических целей и критериев их достижения**

Стратегическая цель	Критерии достижения цели
Максимально быстрое снятие с регулирующего контроля всего объекта	Эффективная эквивалентная доза на население — менее 10 мкЗв/год. Содержание <sup>90</sup> Sr в донных отложениях — менее значения удельной активности техногенных радионуклидов, при которых допускается неограниченное использование материалов (10 <sup>3</sup> Бк/кг). Содержание <sup>90</sup> Sr в воде — менее предельного значения удельной активности в радиоактивных отходах (490 Бк/кг)
Максимально быстрое очищение воды	Содержание <sup>90</sup> Sr в воде — менее предельного значения удельной активности в радиоактивных отходах (490 Бк/кг)
Максимально долгое использование ТКВ для нужд предприятия при условии гарантии безопасности	Вероятность переполнения водоема В-11 — менее 10 <sup>-6</sup> 1/год. Годовой сброс <sup>90</sup> Sr — менее установленного значения (в настоящее время — около 70 Ки/год)

Какие бы стратегические цели и критерии ни были определены, ТКВ должен согласно ФЗ РАО [27] пройти через две обязательные стадии, поскольку является объектом, содержащим РАО — пункт размещения особых РАО<sup>1</sup> (ориентировочно к 2015 году) и пункт консервации особых РАО<sup>2</sup> после полного прекращения сбросов в 2017–2020 гг. Далее надо будет определиться, имеет ли смысл переводить ТКВ в пункт захоронения РАО<sup>3</sup>.

Разработанная на предприятии концепция вывода из эксплуатации объектов ядерного наследия предполагает, что до 2100 года водоемы ТКВ будут освобождены из-

<sup>1</sup> Пункт размещения особых РАО — природный объект или объект техногенного происхождения, содержащий особые радиоактивные отходы, не изолированные от окружающей среды, либо объект, содержащий особые радиоактивные отходы, срок изоляции которых от окружающей среды не установлен.

<sup>2</sup> Пункт размещения особых РАО — природный объект или объект техногенного происхождения, в котором содержатся особые радиоактивные отходы, имеются барьеры для обеспечения безопасности, изолирующие радиоактивные отходы от окружающей среды в течение определенного соответствующим проектом срока эксплуатации указанного объекта.

<sup>3</sup> Пункт захоронения РАО — пункт хранения радиоактивных отходов, предназначенный для размещения радиоактивных отходов без намерения их последующего извлечения и обеспечивающий радиационную безопасность работников такого пункта, населения и окружающей среды в течение периода потенциальной опасности радиоактивных отходов.



под регулирующего надзора и контроля и могут быть переведены в категорию водоемов технического водоснабжения». Один из возможных вариантов жизненного цикла ТКВ приведен на рис. 4.3.1.

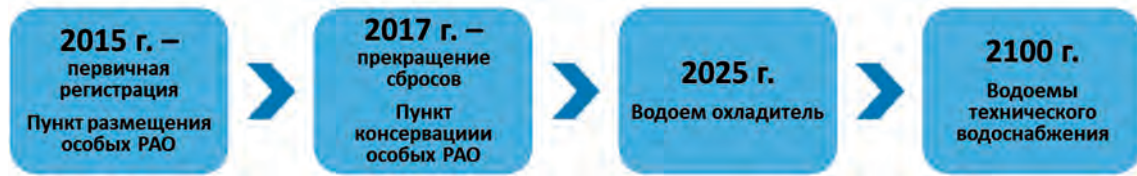


Рис. 4.3.1. Пример жизненного цикла ТКВ

При разработке стратегического мастер плана оцениваются плюсы и минусы каждого варианта действий, направленных на устранение опасных факторов, а также прогнозируется поведение системы ТКВ в целом.

Для научно обоснованного прогнозирования и контроля состояния ТКВ в рамках ФЦП ЯРБ в 2011 году были начаты работы по созданию специально расчетно-мониторингового комплекса (РМК). На основе современных математических моделей и данных мониторинга можно будет рассчитывать объемные активности стронция-90 в воде водоемов ТКВ, в контрольном створе в нижнем бьефе плотины П-11, а также вероятности переполнения замыкающего каскад водоема В-11. В качестве иллюстрации на рис. 4.3.2 приведено одно из окон действующего прототипа РМК.

Рассмотрим для примера четыре возможные стратегии действий по переводу ТКВ в экологически безопасное состояние. «Пассивное наблюдение» — это фактическое

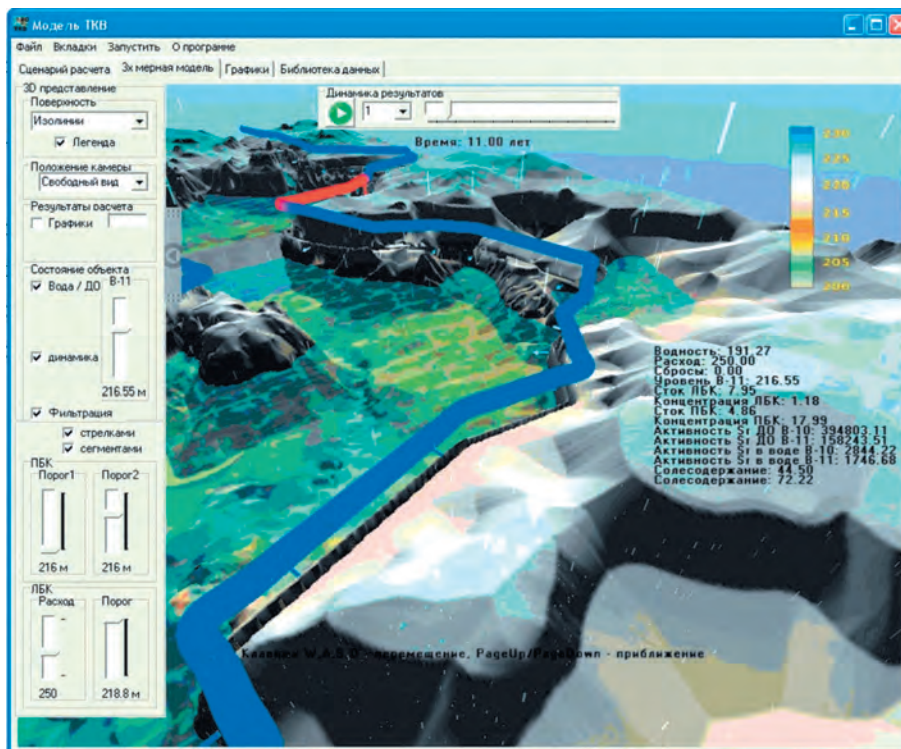


Рис. 4.3.2. Демонстрация динамики изменения расчетных параметров ТКВ (прототип РМК)

бездействие при выполнении условий действия лицензии на эксплуатацию ТКВ (постепенное прекращение сбросов). «Пассивное реагирование» – то же, но с наличием плана реагирования в случае уже наступивших событий. «Активное реагирование» включает разработку инструментария для прогнозирования событий и управления ими в условиях финансовых и прочих ограничений. В стратегии «активное управление» реализуются все основные проекты при практически неограниченных финансовых ресурсах (табл. 4.3.3).

Таблица 4.3.3

**Примеры стратегий перевода ТКВ в экологически безопасное состояние**

Стратегия	Факторы, определяющие стратегии действий								
	Сооружение энергетического источника	Прекращение технологических сбросов	Прекращение нетехнологических сбросов	Изменение уровней порогов-регуляторов	Управление попусками по ЛБК	Установка очистки воды ТКВ	Модернизация системы мониторинга	Ликвидация участков повышенной фильтрации на ЛБК и ПБК	Изоляция В-3 и В-4
Пассивное наблюдение	–	2017	2020	–	–	–	–	–	–
Пассивное реагирование	–	2017	2020	+	+	–	+	+	–
Активное реагирование	+	2016	2018	+	+	–	+	+	–
Активное управление	+	2015	2015	+	+	+	+	+	+

Действующая система мониторинга ТКВ все функции по контролю параметров опасности выполняет. Но для решения более сложных вопросов, связанных с прогнозированием, планированием и управлением, необходимо расширение ее возможностей. Соответствующие детальные предложения также были разработаны. Они предусматривают: увеличение частоты отбора проб, организацию регулярных наблюдений за уровнем и расходом воды в дополнительных точках, в том числе и за пределами ТКВ — сбросов воды из Иртышско-Каслинской системы озер для «плавного» пропуска паводковых вод по обводному каналу (ЛБК) и в верховьях р. Теча, расширение режимной сети наблюдательных пунктов за состоянием подземных вод и координацию контроля, осуществляемого разными организациями (ФГУП «ПО «Маяк» и ФГУП «Гидроспецгеология»).

**4.4. Методология разработки долгосрочных программ и стратегических планов**

Современным подходом к планированию сложных, масштабных и рассчитанных на длительную перспективу работ, к каким относятся работы по накопленным РАО, является разработка стратегического мастер-плана, определяющего модель поступательного движения к заданной цели. Наличие концептуального плана действий позволяет добиться эффективных практических результатов, наиболее рационально использовать имеющиеся средства, реально оценивать потребности и обосновывать необходимость и объем будущих инвестиций.

Первый российский Стратегический мастер-план (СМП) по ликвидации угроз, исходящих от радиационно опасных объектов, разрабатывался в 2004–2007 гг. для решения проблемы утилизации выведенных из эксплуатации объектов атомного флота. СМП, как уже говорилось, успешно реализуется в настоящее время на северо-западе России. На основе этого опыта в 2009–2010 гг. в рамках ФЦП ЯРБ был разработан Стратегический план (СП) повышения ядерной и радиационной безопасности объектов Российской академии наук (РАН) [11]. Расскажем об этой работе подробнее, чтобы на этом примере показать общую методологию долгосрочного планирования деятельности по ликвидации угроз, исходящих от радиационно опасных объектов. Работа проводилась в рамках мероприятий ФЦП ЯРБ группой ведущих ученых и специалистов Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН с участием сотрудников других учреждений РАН.

В Российской академии наук насчитывается более 70 различных организаций, где в научных целях использовались и/или до сих пор используются ускорители, ядерные реакторы, излучающая аппаратура, радиоактивные вещества широкого спектра активности, различного изотопного состава и в различных агрегатных состояниях активностью от десятков до миллиардов Бк. Суммарная активность источников ионизирующего излучения в учреждениях РАН на конец 2010 года составляла более  $10^{16}$  Бк.

РАН имеет достаточно сложную и многоуровневую организационную структуру, сочетающую научно-отраслевой и территориальный принципы подчиненности. Учреждения РАН разбросаны по большой территории от Мурманской области до Дагестана и от Санкт-Петербурга до Дальнего Востока. Поскольку использование ИИИ не является профильной деятельностью РАН, в ведомстве сложился дефицит финансового и кадрового обеспечения работ по обеспечению радиационной безопасности (РБ). Во многих случаях используется оборудование и установки, проработавшие более трех десятков лет, срок эксплуатации которых уже истек. Системы физической защиты, инженерные системы, обеспечивающие условия хранения и обращения с источниками радиации, средства контроля радиационной обстановки и дозиметрического контроля требуют обновления и модернизации (табл. 4.4.1)

Таблица 4.4.1

Пример описания проблемных ситуаций в организациях РАН

Учреждение	Описание проблемной ситуации, требующей решения
Институт... РАН	Спецсистемы: в хранилище изотопов отсутствует современная система противопожарного оповещения и сигнализации, неисправна спецвентиляция
Институт... РАН	Физическая защита: система физической защиты изотопного блока и хранилищ РВ и РАО не соответствует современным требованиям и не исключает несанкционированный доступ
Институт... РАН	Спецсистемы: спецвентиляция изотопного блока неисправна. Работает с 60-х годов. Фильтры выработали ресурс
Институт... РАН	Состояние помещений с ИИИ: радиохимическая лаборатория 2 класса с 1965 года не ремонтировалась. Нарушена герметизация стен и пола. Пластиковые покрытия требуют полной замены
Институт... РАН	Дозиметрический контроль: приборы индивидуальной дозиметрии устарели и неработоспособны. Измерения потока бета-частиц с поверхностей рабочих мест невозможны

Проблемы связаны не только с прошлой деятельностью. Работы с ИИИ продолжаются в настоящее время и планируются на перспективу. Поэтому необходимо перевооружение инфраструктуры обеспечения ядерной радиационной и физической безопасности многих институтов на современном уровне. В этом контексте реализация задач повышения уровня радиационной безопасности на объектах РАН потребует значительно **больших** материальных средств и длительного времени.

Стратегический план, в первую очередь, должен дать полную картину проблемы. Для этого необходим точный перечень объектов РАН, на которых в настоящее время имеются источники ионизирующего излучения, проблемы с их хранением, эксплуатацией и выводом из эксплуатации, радиационно загрязненным территориям и объектам, требующие реабилитации, состояние и необходимость совершенствования систем радиационного и дозиметрического контроля, нормативно-правового регулирования и т.д. Далее нужно составить перечень работ (проектов), которые необходимо выполнить для решения этих проблем. Каждый проект должен быть оценен с точек зрения стоимости и продолжительности. Должны быть выявлены связи проектов (без выполнения каких работ нельзя или нецелесообразно выполнять данный проект). Должна быть установлена очередность выполнения проектов – проведена их приоритезация по определенной методике, позволяющей избежать субъективизма в оценках. Должны быть определены источники финансирования работ, взаимосвязь этих источников, доступные объемы и темпы финансирования из них. И все это должно быть сделано, исходя из необходимости достижения общей стратегической цели – видения – желаемого состояния радиационной безопасности объектов РАН в будущем, которое должно быть сформулировано в самом начале работы.

Видение – это идеальное состояние системы после достижения всех поставленных целей. Исходя из того, что ИИИ и все, что связано с их применением для научных исследований, еще многие годы будет использоваться в организациях РАН, видение для программы повышения РБ на объектах РАН было сформулировано следующим образом:

- Состояние максимального обеспечения радиационной безопасности достигается, если:
  - в организациях РАН нет ИИИ, выведенных из эксплуатации или не являющихся необходимыми для научно-производственной деятельности;
  - условия эксплуатации, мониторинга безопасности и хранения всех оставшихся в организациях РАН источников ионизирующего излучения соответствуют действующим нормам и правилам;
  - в организациях РАН проведена дезактивация и реабилитация радиационно загрязненных помещений и территорий до уровней, не превышающих предельно допустимые для дальнейшего использования объектов в интересах РАН;
  - все накопленные РАО вывезены из организаций и сданы на переработку, длительное хранение или окончательную изоляцию;
  - нормативно-правовая база обеспечения радиационной безопасности объектов РАН в полной мере соответствует действующим требованиям и Правилам;
  - требования норм и правил неукоснительно выполняются.



- На основе положений видения формулируются соответствующие обобщенные цели:
  1. Завершение вывода из эксплуатации и утилизации всех имеющихся в РАН ИИИ, не соответствующих перечню необходимых для текущей и будущей научно-производственной деятельности.
  2. Завершение вывоза из организаций РАН ранее накопленных РАО на длительное хранение или захоронение.
  3. Завершение в организациях РАН необходимой дезактивации и реабилитации радиационно загрязненных помещений и территорий.
  4. Завершение модернизации требующих обновления инженерных систем, систем радиационного и дозиметрического контроля, обеспечивающих радиационную и физическую безопасность объекта, персонала и окружающей среды.
  5. Приведение системы объектового и ведомственного нормативного правового обеспечения радиационной безопасности в соответствие с требованиями федеральных норм и правил.
- На основе обобщенных целей конкретизируются цели по учреждениям и систематизируются направления работ (табл. 4.4.2).
- На следующем этапе определяется исходное состояние РБ и перечень работ, которые необходимо выполнить для приведения радиационной безопасности учреждения в полное соответствие с требованиями действующих руководящих документов (рис. 4.4.1).

Для возможности эффективного управления реализацией стратегического плана повышения радиационной безопасности, его корректировки и контроля исполнения должны применяться современные инструменты проектного управления, в частности, информационная система управления проектами (ИСУП). Соответственно, сам план (программа) должен быть написан в формате, который позволяет, в последующем, использовать ИСУП. В связи с этим была разработана пятиуровневая система кодификации работ, которая учитывает региональную принадлежность учреждения, сравнительную суммарную активность имеющихся в его ведении ИИИ, направления решения проблем по повышению РБ, конкретные проекты по решению этих проблем и их этапы. При необходимости система может дорабатываться дополнительными уровнями.

Из-за необходимости согласовывать по времени однотипные работы, например вывоз РАО или проведение дезактивации, в близко расположенных учреждениях одним и тем же исполнителем на первом уровне кодирование проводили по 6 вышеназванным направлениям деятельности. На втором уровне – по регионам. Регионы были пронумерованы следующим образом (в скобках указано число учреждений РАН, где в данное время находятся ИИИ):

1. Москва (24).
2. Московская область (12).
3. Санкт-Петербург (8).
4. Дальневосточное отделение (2).
5. Уральское отделение (11).
6. Сибирское отделение (12).
7. Татарстан (1).
8. Дагестан (1).
9. Кольский полуостров (1).

Таблица 4.4.2

**Направления работ по повышению РБ и ожидаемое конечное состояние**

Направления работ	Ожидаемое конечное состояние
1. Вывоз неиспользуемых ИИИ, дезактивация помещений и оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Все неиспользуемые ИИИ вывезены из учреждений РАН установленным порядком.</li> <li>• Помещения и оборудование дезактивированы, подготовлены к дальнейшему использованию или утилизированы</li> </ul>
2. Модернизация хранилищ и спецсистем	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Хранилища ИИИ обследованы, отремонтированы и приведены в состояние соответствия действующим нормативным документам.</li> <li>• Спецсистемы, обслуживающие обращение с ИИИ, обследованы и приведены в состояние, полностью соответствующее технической документации. Устаревшее оборудование заменено.</li> <li>• Биологическая защита приведена в соответствие с утвержденной проектной документацией</li> </ul>
3. Совершенствование радиационного и дозиметрического контроля	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Радиационный и дозиметрический контроль в учреждении полностью соответствует нормативным требованиям и требованиям надзорных органов.</li> <li>• Устаревшее оборудование и элементная база систем контроля обновлена.</li> <li>• Персонал служб контроля соответствует требованиям к этой категории специалистов</li> </ul>
4. Модернизация физической и противопожарной защиты	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Физическая и противопожарная защита соответствует нормативным требованиям и использует современные технические средства.</li> <li>• Персонал служб соответствует требованиям к этой категории специалистов</li> </ul>
5. Обследование радиационно опасных объектов и систем	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Все объекты, отнесенные к категории радиационно опасных, и обеспечивающие их системы обследованы установленным порядком, если их состояние не вполне определено</li> </ul>
6. Нормативно-правовое обеспечение	<ul style="list-style-type: none"> <li>• На эксплуатацию всех радиационно опасных объектов и обслуживающих их систем оформлена необходимая документация.</li> <li>• Персонал объектов имеет соответствующую специальную подготовку и допущен к работам с ИИИ в установленном порядке</li> </ul>

Третий уровень определялся суммарным радиационным потенциалом ИИИ, находящихся в ведении учреждения. Четвертый уровень – это мероприятия (проекты) в конкретных учреждениях по тому или иному направлению работ. Например, код проекта по вывозу урана-238 из ФИАН в Москве — 1.1.6.1. Первая цифра (1) – направление работ (вывоз ИИИ), вторая цифра (1) – регион (Москва), третья цифра (6) – порядковый номер института в регионе, четвертая цифра (1) – порядковый номер проекта данного направления в данном учреждении. Если проект выполняется в несколько этапов, он может быть разбит на фазы. Фазы проекта являются пятым уровнем кодирования (рис. 4.4.2).

Дальнейшие действия по формированию программы повышения РБ проводятся в следующей последовательности:

- направление в учреждения формуляров по проблеме РБ для заполнения;

## Верхний уровень стратегии достижения основных целей повышения радиационной безопасности

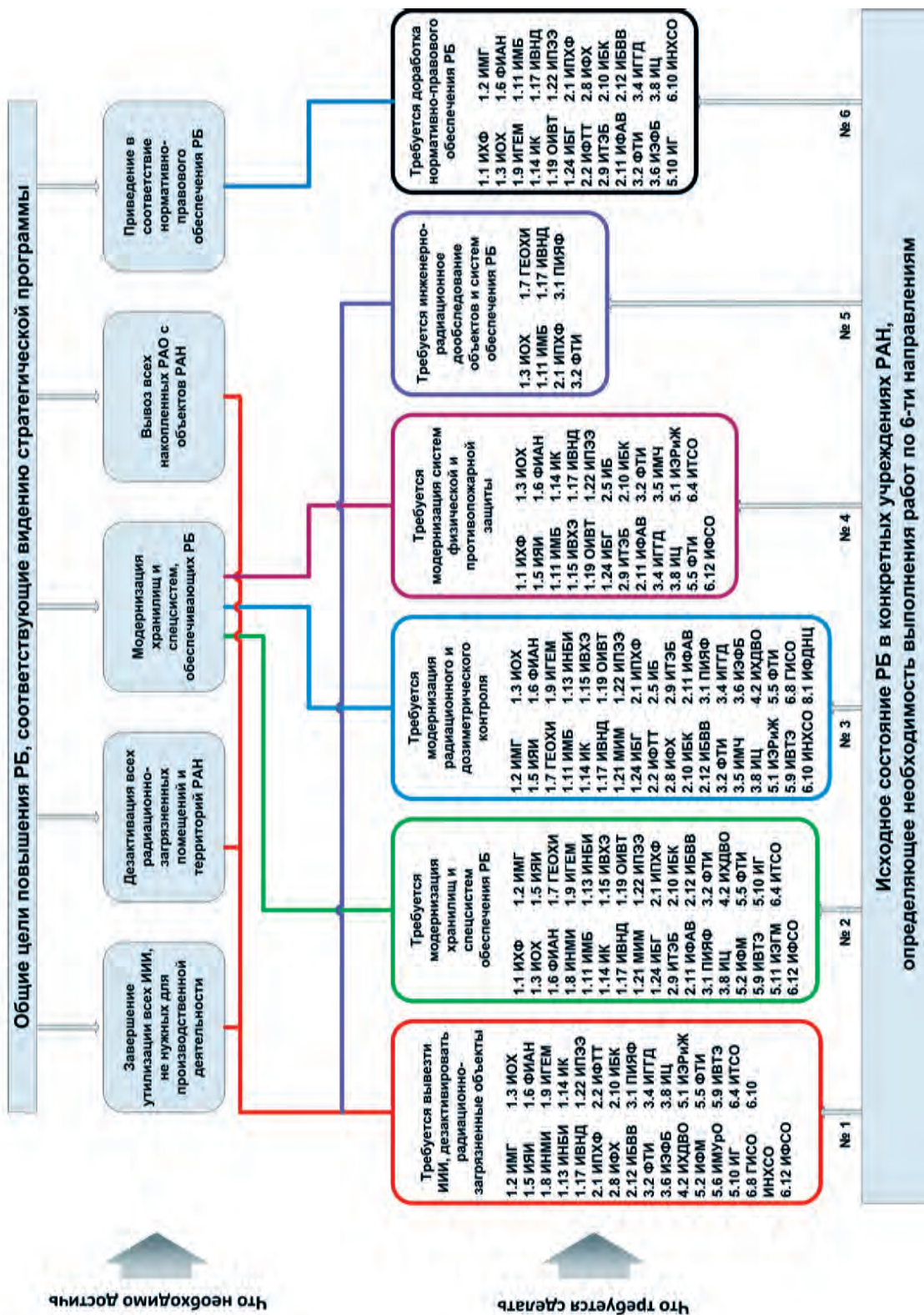


Рис. 4.4.1. Стратегия верхнего уровня повышения радиационной безопасности на объектах РАН



Рис.4.4.2. Принцип формирования структуры декомпозиции работ для повышения радиационной безопасности на объектах РАО

- анализ полученных формуляров и результатов посещений объектов РАО с ИИИ;
- разработка общего перечня проектов и разбивка их по направлениям работ;
- структурная декомпозиция работ;
- экспертное определение наиболее актуальных проектов;
- направление в учреждения РАО формы бланков описания наиболее актуальных проектов;
- экспертная оценка актуальности проектов;
- разработка методологии экспертного обоснования приоритетных проектов;
- формирование последовательности выполнения проектов;
- построение диаграммы Ганта и обобщение результатов.

В первичный перечень работ по повышению радиационной безопасности от 49 учреждений РАО было заявлено 203 проекта на общую сумму 316,4 млн рублей. Проекты стоимостью менее 100 тыс. рублей были исключены, поскольку такие проекты организации могут выполнить сами по мере надобности и в соответствии с внутренними планами. Число учреждений сократилось до 44.

Из оставшихся 178 проектов не все можно было оценить с точки зрения актуальности и приоритета. По многим из них не было ясно содержание работ или их реальная стоимость. Значительная часть работ, представленных учреждениями РАО к рассмотрению, не имела прямого отношения к проблеме повышения РБ или была ориентирована на обеспечение будущих плановых работ. Поэтому на первом предварительном этапе приоритезации эксперты отбирали работы, удовлетворявшие следующим условиям:

- проект может выполняться в настоящее время или будет готов к реализации в период 2011–2012 гг.;
- степень проработки содержания работы и цели проекта должны быть достаточны для подготовки обоснованных оценок со стороны экспертов;
- все проекты, технологически предшествующие рассматриваемому, должны удовлетворять первым двум требованиям.



В предварительной оценке проектов приняли участие 9 экспертов из различных организаций. Было согласовано, что проект признается наиболее актуальным, если это подтверждено тремя и более экспертами. В результате из 178 проектов для дальнейшего анализа был отобран 71 (без проектов ПИЯФ).

Для ранжирования оставшихся проектов был применен метод, используемый специальной организацией по выводу из эксплуатации ядерных объектов в Великобритании, в комбинации с методом сближения экспертных оценок «Дельфи» (рис. 4.4.3). Вывод о приоритетности проекта базировался на следующих критериях:

- Снижение опасности – уменьшение способности радиоактивных веществ наносить радиационное поражение с учетом их свойств и способа хранения.
- Управление безопасностью – повышение защищенности персонала и населения от рисков, включая аварийные риски.
- Улучшение физической и пожарной защиты.
- Продвижение программы – степень местной и региональной поддержки проекта, включая сокращение планируемой стоимости, получения необходимых разрешений и поддержки на различных уровнях.
- Эффективность расходования средств.

Для каждого критерия был разработан соответствующий перечень факторов, которые разделены на группы. Для каждой группы факторов рекомендован диапазон весовых коэффициентов (вес 0 означает, что влияние данной группы факторов пренебрежимо мало). В пределах групп факторы также имеют вес, который оценивается по пятибалльной шкале от 0 до 4 (в этом случае вес 0 также свидетельствует об отсутствии всякого влияния). Для выработки критериев и системы оценок была отобрана группа из 9 экспертов, состав группы определялся с учетом мнения заинтересованных организаций. Группа работала по методу «мозгового штурма».

Анализ заключений экспертов по сравнительной оценке актуальности проектов разных направлений дал следующие результаты. Наиболее актуальными были признаны проекты первых трех направлений, которые позволяют в наибольшей степени повысить радиационную безопасность, поскольку ликвидируют источники ионизирующих излучений в принципе или улучшают контроль безопасности персонала:

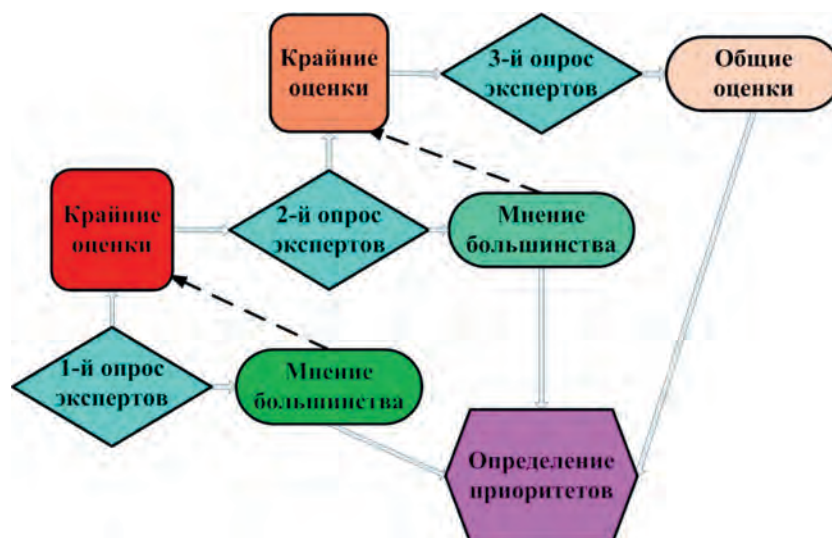


Рис. 4.4.3. Схема реализации метода сближения экспертных оценок «Дельфи»

- утилизация или вывоз ИИИ;
- модернизация хранилищ и спецсистем;
- модернизация радиационного и дозиметрического контроля.

Причем наибольшее предпочтение отдано первому направлению. Наименее актуальными признаны проекты пятого и шестого направлений (проведение обследований и совершенствование нормативной правовой базы). Проекты четвертого направления (модернизация противопожарной и физической защиты) влияют на обеспечение радиационной безопасности косвенно и, как правило, должны выполняться из средств различных источников финансирования для обеспечения безопасности учреждения в целом, а не только для обеспечения радиационной безопасности. Проекты пятого и шестого направлений не отвергаются экспертами как необходимые. Однако радиационные или иные обследования во многих случаях входят в состав других проектов. Кроме того, отслеживание нормативной правовой базы учреждения, использующего ИИИ, является повседневной заботой администрации и должны финансироваться, как правило, за счет бюджета учреждения без централизованного планирования этих работ.

На основе экспертных оценок актуальности проектов была разработана Программа повышения радиационной безопасности (ППРБ). Проекты, получившие наивысшие оценки, были признаны первоочередными и, как правило, поставлены на реализацию в 2011 или в 2012 году. Проекты с меньшими показателями актуальности были запланированы на более поздние сроки (до 2015 г.).

Важным обстоятельством являлись оценки ресурсного (финансового) обеспечения работ. Первоначальная оценка общей стоимости каждого проекта производилась сотрудниками того учреждения, в интересах которого планировалось выполнение работ. Во многих случаях эти оценки предварительно согласовывались с непосредственными исполнителями. Однако, в ряде случаев сделанные оценки стоимости были очень приблизительными. Их уточнение предполагается при подготовке проекта к реализации. Несмотря на ориентировочный характер сделанных оценок стоимости, было изначально ясно, что средств ФЦП ЯРБ на финансирование всех проектов ППРБ недостаточно. Кроме того, значительное количество проектов, несмотря на безусловную их связь с обеспечением РБ, не вполне соответствовали целям ФЦП ЯРБ, которая направлена, прежде всего, на ликвидацию радиационных проблем прежней деятельности. В то же время многие проекты соответствуют этому только отчасти. Эти проекты обеспечивают не только ликвидацию наследия, но и включают работы по обеспечению радиационной безопасности текущей и будущей деятельности учреждений РАН. Признавая необходимость выполнения таких проектов для общего повышения радиационной безопасности объектов РАН, разработчики СП разделили требуемое их финансирование на две части — финансирование из средств ФЦП и из иных источников, определяемых самим предприятием. Кроме того, по опыту работ 2009–2010 г. ряд работ по вывозу ИИИ могли выполняться по субсидиям Росатома.

Основу программы повышения радиационной безопасности составляют календарный план и финансовое обеспечение, образующие в целом техническую базовую линию. Здесь сосредоточена вся информация по процессам и ресурсам, необходимым для достижения стратегических целей программы. Начальная техническая базовая линия представляет собой формальное описание последовательности работ, взаимосвязей между ними, требований и ограничений при достижении конечных целей. На ее основе делаются оценки стоимости работ и график их выполнения. Это позволяет управлять ходом работ на протяжении всего периода реализации СП. Предпола-

гается, что техническая базовая линия будет систематически отслеживаться на протяжении всего периода реализации программы, что позволяет осуществлять мониторинг хода работ и корректировать программу повышения РБ.

Обобщающие результаты разработки программы приводятся на рис. 4.4.4 и 4.4.5.

Как уже говорилось, программа повышения радиационной безопасности объектов РАН (ППРБ) не является программой прямого действия, она должна служить ориентиром при разработке годовых и иных планов в этой сфере деятельности, а также принятия решений при выделении средств учреждениям РАН из различных источников.

#### 4.5. Программа глобального партнерства

Значительный объем работ по ликвидации ядерного наследия был выполнен в рамках международной программы «Глобальное партнерство стран «Большой восьмерки» против распространения оружия и материалов массового уничтожения». Очень кратко эти работы упоминались в первом томе [2].

В соответствии с программой Глобального партнерства восемь государств – Великобритания, Канада, Германия, Италия, Россия, США, Франция и Япония – взяли на себя политическое обязательство выделить в течение 10 последующих лет \$20 млрд на проекты содействия в области разоружения и нераспространения оружия массового уничтожения и средств его доставки. При этом в первую очередь средства должны были пойти на российские программы разоружения, а затем на аналогичные программы в других странах, нуждающихся в помощи. В 2003 году к Глобальному партнерству присоединились еще шесть государств – Норвегия, Нидерланды, Польша, Финляндия, Швеция и Швейцария, а также Евросоюз. В 2004 году о своем стремлении участвовать в программе Глобального партнерства заявили еще семь стран: Австралия, Австрия, Бельгия, Дания, Новая Зеландия, Чехия и Южная Корея. В настоящее время в Глобальном партнерстве 24 участника.

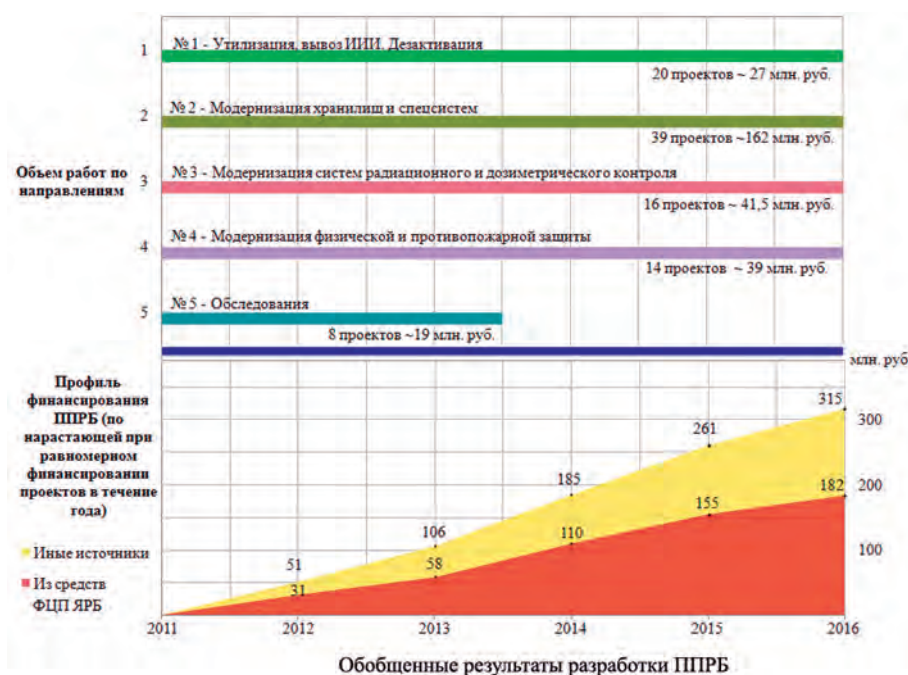


Рис. 4.4.4. Ресурсное обеспечение программы повышения радиационной безопасности на объектах РАН



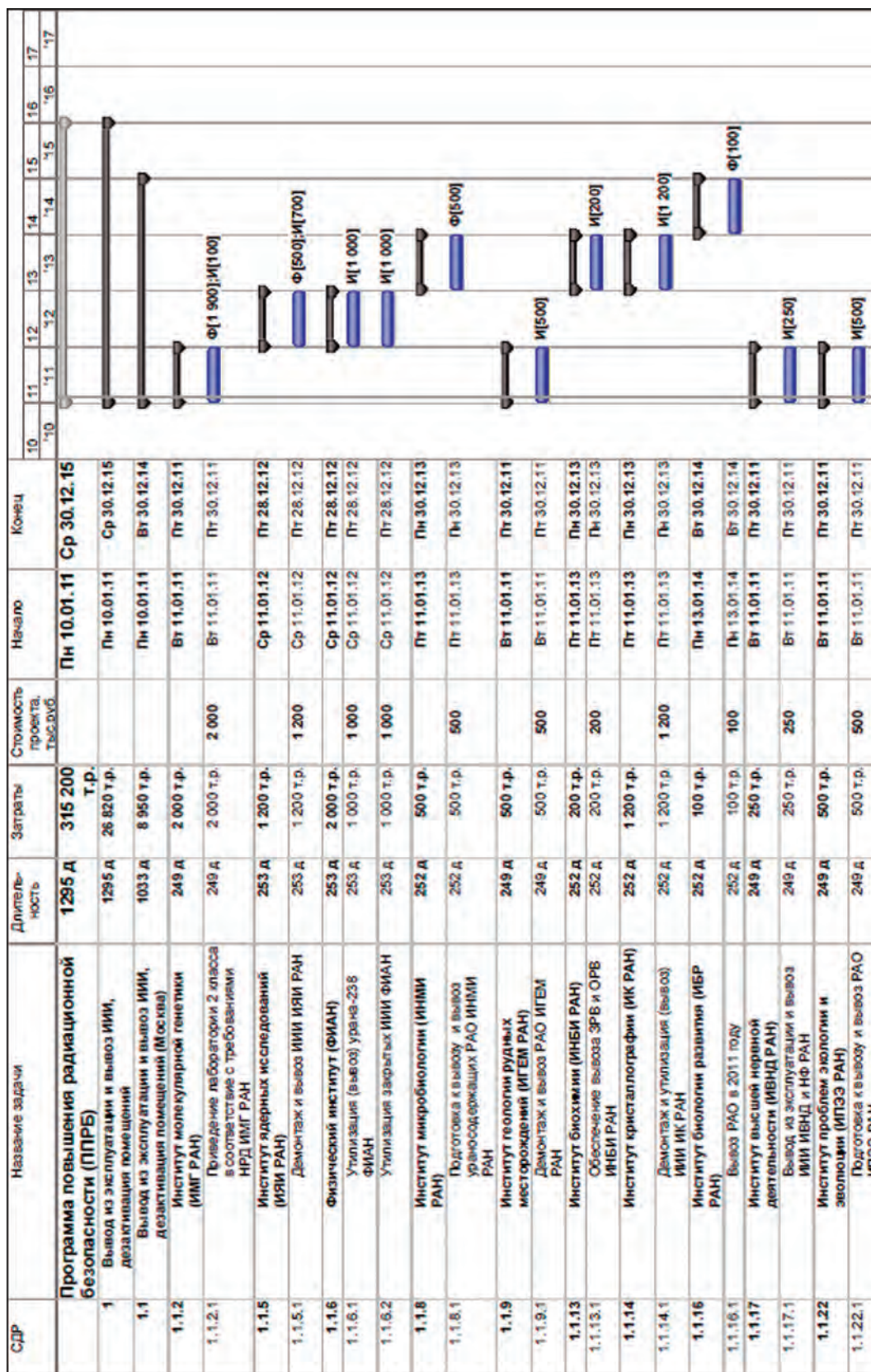


Рис. 4.4.5. Фрагмент диаграммы Ганта для Программы повышения радиационной безопасности на объектах Российской академии наук



Реализация партнерства была обусловлена соблюдением многих условий. Как правило, зарубежные партнеры поддерживали только те проекты, которые получали значимое софинансирование с российской стороны. Это софинансирование обеспечивалось за счет средств российской программы по комплексной утилизации АПЛ и ФЦП ЯРБ. Средства зарубежных партнеров выделялись по их национальным правилам при соблюдении российского законодательства. Донорские средства освобождались от налогообложения. Зарубежные представители получали разрешение на инспектирование мест выполнения работ и гарантии безопасного информационного обмена.

Универсальным правовым инструментом регулирования механизмов реализации международного сотрудничества стало Соглашение о многосторонней ядерно-экологической программе в Российской Федерации (МНЭПР).

Решения о финансировании проектов в рамках Партнерства принимались на уровне органов исполнительной власти стран-доноров. Вся дальнейшая практическая работа строилась на уровне специалистов компаний стран-доноров и российских организаций, эксплуатирующих опасные объекты. При необходимости к работе привлекали проектные, конструкторские, строительные организации или поставщиков из России или стран-доноров. Большой масштаб работ потребовал специальных организационных усилий, четкого распределения работ по направлениям и объектам (с учетом их технического состояния, степени опасности для населения и окружающей среды). Была разработана своеобразная «матрица сотрудничества», которая позволила консолидировать и скоординировать ресурсы России и стран-доноров [28].

Большую роль в организации международного сотрудничества в рамках Партнерства сыграла Международная Контактная экспертная группа (КЭГ) МАГАТЭ. Группа была создана еще в 1995 году для координации сотрудничества с Россией в области обращения с РАО. Сейчас в ее состав входят 12 стран-членов, Еврокомиссия и международные организации (ЕБРР и МНТЦ) [29]. С появлением Глобального партнерства КЭГ переориентировалась с общих проблем наследия в области РАО на более локализованную область – утилизацию АПЛ. Группа взяла на себя координацию усилий, сбор и обобщение информации о ходе работ и выработку рекомендаций. На регулярно организуемых КЭГ тематических семинарах и ежегодных пленарных заседаниях обсуждались наиболее подходящие технические решения и возможности партнеров, что помогало сократить дублирование усилий и расставить приоритеты. Занимаясь выбором и мониторингом проектов, содействием процессу международного технического аудита КЭГ обеспечивала уверенность доноров и бенефициаров в том, что избранные технические решения надежны [30].

В связи с десятилетием работ по программе Партнерства, в Москве в конце 2012 года была проведена международная конференция «Глобальное партнерство «Группы восьми»: оценка и перспективы дальнейшего сотрудничества в области ядерной и радиационной безопасности» (рис. 4.5.1). На конференции был представлен широкий обзор работ, выполненных как за десятилетие совместных работ, так и в рамках национальных программ России [31].

В целом среди реализованных работ можно выделить несколько крупных, взаимодействующих друг друга сегментов:

- Утилизация АПЛ и судов атомного технологического обслуживания.
- Создание инфраструктуры для вывоза ОЯТ на переработку.
- Создание хранилищ, сбор и кондиционирование РАО.
- Реабилитация бывших береговых технических баз.
- Вывоз на утилизацию радиационных источников типа РИТЭГ.



*Рис. 4.5.1. Участники международной конференции «Глобальное партнерство «Группы восьми»: перспективы дальнейшего сотрудничества в области ядерной и радиационной безопасности». Москва, 21.11.2012*

- Создание систем контроля радиационной обстановки и аварийного реагирования.
- Развитие систем обращения с РАО на Северо-Западе России (Кольская и Ленинградская АЭС).
- Сотрудничество надзорных органов.
- Обучение специалистов.
- Программы для закрытых городов.
- Усиление физической защиты.

В большинстве случаев сотрудничество так или иначе затрагивало проблему РАО. Кратко рассмотрим только три примера совместных работ, непосредственно связанных с РАО, — создание пунктов хранения реакторных отсеков на Северо-Западе и Дальнем Востоке и комплекса переработки и хранения РАО на Северо-Западе.

Благодаря международному сотрудничеству за 10 лет на средства стран-доноров было утилизировано треть из почти 200 АПЛ, выведенных из состава ВМФ [31]. Утилизация — это начальная стадия работ. Для их этапного завершения важны безопасные условия хранения радиационно опасного реакторного блока. На первом этапе утилизации практиковалось хранение образующихся трех или одноотсечных блоков на плаву. Очевидно, что это было промежуточное решение. Ко времени учреждения Глобального партнерства в губе Сайда на временном хранении на плаву находились 8 одноотсечных, 21 трехотсечных и 12 многоотсечных реакторных блоков и 9 корпусов утилизированных АПЛ. Все имеющиеся причалы были полностью загружены. С учетом всех ожидающих списания и утилизации АПЛ на длительное хранение предстояло разместить 150 реакторных блоков.

Пункт долговременного наземного хранения реакторных блоков и корпусов утилизированных АПЛ было решено создавать там же, в губе Сайда. Аналогичный объект в мире уже имелся — в США, в пустынной местности вблизи города Хэнфорд в штате Вашингтон. Береговое хранилище в губе Сайда нужно было создавать с учетом суровых погодных условий Крайнего Севера.

Работы по строительству берегового хранилища в губе Сайда начались в 2004 году после подписания соглашения между Федеральным министерством экономики и труда Германии и российским Минатомом [32]. Генеральным подрядчиком и руководителем проекта германское правительство назначило компанию Energiewerke Nord GmbH (EWN). С российской стороны роль российской интегрирующей компании и основного субподрядчика играл РНЦ «Курчатовский институт». Некоторые работы проводились непосредственно с российским судоремонтным заводом «Нерпа».

Сначала была создана строительная инфраструктура: построены здания административно-бытового назначения, склады, площадки для размещения оборудования и стройматериалов, временные сооружения для тепло-электро-водоснабжения, стоянки и ремонта техники и жилье для строителей. В 2005 году были проведены взрывные работы по вскрытию скальных пород и удалению грунта для подготовки фундамента для железобетонной плиты хранилища реакторных отсеков. В общей сложности было удалено более 1 млн кубометров разных материалов [33]. Первая очередь хранилища в губе Сайда была введена в эксплуатацию 18 июля 2006 года (рис. 4.5.2).

В эти же годы был выполнен большой объем подводных работ по удалению грунта и подготовке места для загрузочного причала, и построен ремонтный цех. На судоремонтном заводе «Нерпа», откуда реакторные отсеки транспортируют в губу Сайда, построена специальная накопительная площадка на 8–10 реакторных отсеков с необходимой транспортной системой.

В сентябре 2011 года все работы по созданию берегового хранилища на 150 реакторных отсеков АПЛ и 25 атомных объектов надводных судов были завершены. Весной 2012 на площадку для долговременного хранения были поставлены 47 реакторных отсеков (рис. 4.5.3), на плаву оставались 36 многоотсечных блоков (из трех- и более отсеков).

Кроме большой стапельной плиты, на которой расположены блоки, и огражденных площадок для хранения пустых контейнеров, газовых баллонов и т.п., к пункту хранения относятся лабораторный корпус, система водосбора, контроля и очистки, автоматизированная система контроля радиационной обстановки (АСКРО) и локальная система оповещения ГО и ЧС. В 2012 году был сдан в эксплуатацию цех очистки и покраски реакторных отсеков, переоборудован причал для швартовки судов, перевозящих контейнеры с РАО. Кроме того, был сооружен целый комплекс для размещения трехотсечных блоков для их утилизации.



*Рис. 4.5.2. Панорама строительства берегового пункта длительного хранения реакторных отсеков и инфраструктуры обращения с РАО в губе Сайда*





*Рис. 4.5.3. Береговой пункт долговременного хранения реакторных отсеков по состоянию на июнь 2011 г.*

Чтобы обеспечить централизованное, контролируемое и надежное хранение РАО и, тем самым, снизить радиологические угрозы для региона, в 2009 году рядом с хранилищем для реакторных отсеков в губе Сайда начали возводить региональный центр кондиционирования и долговременного хранения РАО. В центре должны перерабатываться и храниться все ТРО с объектов на Кольском полуострове, включая старые хранилища в губе Андреева и Гремихе. В 2012 году строительные работы были завершены (рис. 4.5.4). В 2013–2014 годах будет проведен монтаж поставляемого из Германии оборудования. По оснащению этот центр будет аналогичен центру по обращению и хранению РАО в городе Любмин в Германии. Планируемый срок сдачи – 2014 год [34, 35].

Опыт работ в губе Сайда был применен российской стороной при создании пункта долговременного хранения реакторных отсеков на Дальнем Востоке [36, 37]. Площадка для строительства была выбрана на мысе Устричный в бухте Разбойник. Пусковой комплекс хранилища был сдан в эксплуатацию в конце 2010 г. В 2011 г. ФРГ поставила на объект судовозный поезд, аналогичный тому, который используется на Сайде. От японской стороны было получено оборудование для установки реакторных отсеков на площадку долговременного хранения, включая буксировочное судно «Сумирэ», два порталных крана грузоподъемностью 10 тонн и 32 тонны и транспортно-передаточный плавучий док «Сакура» водоизмещением 3,5 тыс. тонн. Теперь хранящиеся на плаву трехотсечники по очереди с помощью буксира будут выводить в искусственно углубленный участок бухты. Там с помощью порталных кранов многотонные трехотсечные блоки будут поднимать на «Сакуру» и с помощью буксира «Сумирэ» транспортировать к причалу. Немецкий судопоезд будет доставлять трехотсечники в специальное бетонное хранилище. В хранилище на специальном стапеле из трехотсечника вырежут соседние с реакторным отсеки и отправят их на переплавку, а собственно реакторный отсек очистят, покрасят и поставят на хранение примерно на 70 лет.

В конце 2012 года на стапельную плиту на мысе Устричный, рассчитанную на длительное хранение 28 одноотсечных блоков, были установлены два первых 2 одно-





*Рис. 4.5.4. Строительство регионального центра кондиционирования и хранения РАО в губе Сайда по состоянию на октябрь 2012 г.*

отсечника (рис. 4.5.5). При расчетной проектной мощности пять блоков в год, процесс окончательной утилизации ожидающих своей очереди теперь уже 52 выведенных из эксплуатации субмарин продлится все ближайшее десятилетие. Кроме того, в скором времени в бухту Разбойник доставят еще 19 трехотсечных блоков с Камчатки. Вторая очередь хранилища на 72 одноотсечных блока по плану будет сдана в эксплуатацию в 2015 году [37].

На саммите лидеров «Группы восьми» во французском Довиле в мае 2011 года было принято решение о продлении мандата Глобального партнерства после 2012 года, расширении его географии и сферы охвата. В число основных направлений взаимодействия снова включены ядерная и радиологическая безопасность. Состоявшаяся в конце 2012 года Московская конференция позволила существенно уточнить планы этого сотрудничества [38].

#### **4.6. Затопленные в морях Арктики РАО**

Развертывание работ по ядерному наследию сопровождается его инвентаризацией. Одно из направлений этой работы – затопленные в морях Арктики объекты. Выполненные ранее исследования и оценки [39], показывают, что на дне морей северо-западной Арктики находятся около 18 тысяч объектов различной степени радиационной опасности, которые в основном были затоплены в период «холодной войны» и содержат РАО от эксплуатации АПЛ Северного и ледокольного флотов (табл. 4.6.1). Только семь из них содержат делящиеся материалы (ОЯТ) и относятся к классу ядерно опасных. Прежде всего, это три АПЛ, одна из которых («К-27» с двумя корабельными ядерными жидкометаллическими реакторами) была затоплена в 1981 г. в заливе Степового у восточного побережья Новой Земли. Две другие АПЛ аварийно затонули – «К-278» («Комсомолец») в 1989 г. в Норвежском море, «К-159» в 2003 г. в Баренцевом море. Кроме того, в 1960-х годах в бухтах восточного побережья Новой



*Рис. 4.5.5. Выкатка первого трехотсечного блока лодки зав. № 227 на стапельное место № 1 с помощью немецкого судопоезда, бухта Разбойник, сентябрь 2012 г.*

Земли были затоплены пять реакторных отсеков с корабельными и судовыми ядерными энергетическими установками, два из которых содержат ОЯТ, и специальный контейнер с экранной сборкой, содержащей часть ОЯТ одного из реакторов атомного ледокола «Ленин». В Новоземельской впадине Карского моря затоплена баржа с содержащим ОЯТ аварийным реактором, выгруженным из АПЛ. Затопленные объекты проходили подготовку к затоплению. Технологии и материалы, использованные при консервации объектов с ОЯТ известны. Основная масса затоплений РАО была произведена в соответствии с нормативным документом ВСТЗ-66 [40].

Всего в Арктике было захоронено 31 033 м<sup>3</sup> отходов, в том числе 17 105 контейнеров активностью 33,5 кКи (1,24 ПБк). Часть ТРО содержалась в 19 затопленных списанных судах различного назначения. Гораздо меньшие размеры, вес и активности имели металлические контейнеры с ТРО, которые наполнялись навалом или цементировались внутри (цементировались до 10 % от общего количества, преимущественно отходы ледокольного флота).

Информация о месте затопления контейнеров ТРО и затопления крупногабаритных ТРО в целом сохранена [41]. Даже краткое описание имеющихся объектов показывает (табл. 4.6.2), что в большом количестве случаев их потенциальная экологическая опасность может быть оценена как незначительная. Но в ряде случаев это не может заведомо считаться доказанным, а в некоторых, еще более редких случаях, ситуация может оказаться обратной [42, 43].



## Затопленные и затонувшие объекты (1957–1992 гг. и 2003 г.)

Тип объекта	Наличие ОЯТ
3 атомные подводные лодки	Есть
5 реакторных отсеков	Есть в двух объектах
1 ядерный реактор с АПЛ заказ № 421	Есть
1 контейнер с экранной сборкой атомного ледокола	Есть
19 судов с твердыми радиоактивными отходами на борту	Нет
735 радиоактивных конструкций и блоков	Нет
Более 17 тыс. контейнеров с радиоактивными отходами	Нет

В ряде случаев, когда затопление проводилось в составе списанного судна, возможность оценки обстановки и выработки решений затрудняется размером затопленных судов (табл. 4.6.3).

В целом можно констатировать, что к настоящему времени в основном консолидирован основной объем данных по затопленным объектам. Предварительный список затопленных ядерно и радиационно опасных объектов должен быть уточнен, в первую очередь, в части координат затоплений, размеров и радиационных характеристик объектов, также определения таких характеристик, как гидрология и глубина расположения объектов.

Первая детальная публикация материалов по затопленным объектам [41] инициировала многие другие исследования, выполненные российскими и зарубежными специалистами. Обобщенные результаты этих работ были представлены в 1990-х годах на ряде международных конференций, симпозиумов и семинаров по радиоактивности Арктики, организованных МАГАТЭ, Европейским союзом (ЕС), Конгрессом США и Американской ассоциацией содействия науке, Норвежским управлением по радиационной безопасности и др. [44–49].

В настоящее время работы по анализу значимости радиоэкологических проблем, связанных с затоплением ОЯТ и РАО, активизировались, а по ряду конкретных объектов (АПК К-27, К-159) ведутся углубленные проработки, связанные с оценкой деградации защитных барьеров, необходимости и возможности их подъема.

#### 4.7. Проработка планов на 2016–2025 годы

Содержание предшествующих разделов показало, что при решении накопленных проблем в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности применяется широкий набор инструментов планирования и реализации отдельных работ. Однако, по ряду причин, системообразующими являются государственные планы и программы с фиксированными обязательствами по финансированию работ. Эта ситуация характерна для всех крупных проблем, когда для ее решения средств из одного, даже мощного источника, может не хватить. Начало финансирования инициирует привлечение средств из иных источников, в том числе рыночных инвестиций. И наоборот, отсутствие первого значимого финансового вклада, практически исключает какие-либо инвестиции, по причине очевидной невозможности достижения каких-либо значимых целей или сомнений в том, нужно ли эту проблему решать вообще, то есть сомнений в ее актуальности. Как уже отмечалось, ход работ по решению накоп-

Таблица 4.6.2

**Месторасположения затопленных крупногабаритных ТРО,  
а также контейнеров с ТРО в районах Карского моря по данным [41, 42]**

Район	Географическое положение	Контейнеры с ТРО, шт.	Крупногабаритные ТРО и реакторные конструкции в районах захоронения Карского моря
№ 1	Карское море, Новоземельская впадина	4834	306 крупногабаритных предметов (2 корпуса реактора, 4 насоса первого контура, парогенератор и т.д.), 9 плавсредств (лихтер «Саяны»; танкер ТНТ; ТНТ «Горынь»; лихтер «Ома»; баржа МБСН-378250)
№ 2	Восточное побережье Новой Земли, залив Седова	1100	112 крупногабаритных предметов
№ 3	Восточное побережье Новой Земли, залив Ога	2190	1 плавсредство, 101 крупногабаритный предмет
№ 4	Восточное побережье Новой Земли, залив Цивольки	5242	2 плавсредства, 166 крупногабаритных предметов
№ 5	Восточное побережье Новой Земли, ив Степового	1917	5 крупногабаритных предметов
№ 6	Восточное побережье Новой Земли, залив Абросимова	646	10 крупногабаритных предметов, из которых 5 парогенераторов, 3 плавсредства (баржа – проект требует уточнения, баржа МНН-231500, баржа МБСН 378250)
№ 7	Восточное побережье Новой Земли, залив Благополучия	992	2 крупногабаритных предмета
№ 8	Восточное побережье Новой Земли, залив Течений	194	31 крупногабаритный предмет, 1 плавсредство

Таблица 4.6.3

**Размеры затопленных плавательных средств, нагружавшиеся навалом ТРО**

Плавсредство	Размеры, м
Лихтер «Саяны»	78 × 12 × 6
Танкер ТНТ-15	39,2 × 7,3 × 3,5
ТНТ «Горынь»	54,8 × 10,0 × 5,0
Лихтер «Ома»	50,8 × 8,9 × 4,3
Баржа МБСН-378250	40,0 × 9,3 × 4,1



ленных проблем в сфере обращения с РАО в полной мере демонстрирует наличие признаков актуальности и возможности ее решения. Таким образом, будет справедливо утверждение о том, что поэтапная разработка ФЦП ЯРБ 1, 2, 3 и так далее, является обязательным условием и гарантией успешного решения проблемы.

Уже в концепции ФЦП ЯРБ, утвержденной Правительством России в 2007 году, отмечалось, что проблема, как и в аналогичных случаях за рубежом (США, Великобритания), потребует длительных и значительных финансовых усилий. Несмотря на большое количество системных аналогов, общие подходы к процедурам разработки и реализации таких «длинных» программ до настоящего времени не выработаны. Естественное требование непрерывности планирования и реализации отражается в наличии так называемого планового периода в процессе бюджетирования в Российской Федерации. Таким образом, весной 2013 года, при подготовке бюджетных заявок на 2014 годы и плановый период (2015–2016 годы) было бы правильным уже иметь утвержденный или одобренный проект программы на период после 2015 года. Однако существует и другое требование, которое также не может не быть признано обоснованным. Это требование предъявления результатов реализации предшествующей целевой программы. Именно по этой причине поручение Правительства Российской Федерации от 18 июля 2012 г. № РД-П7-4090 предусматривает разработку и утверждение ФЦП ЯРБ 2 только в 2014 году.

Организация бюджетного процесса как в России, так и за рубежом является предметом постоянных политических дискуссий и развития, поскольку объективных критериев рациональности планирования государственных средств в принципе не существует. Концепция государственных программ Российской Федерации является примером такого развития, предусматривающим среди прочего выравнивание горизонтов планирования по различным проблемным областям и оперирование крупноблочным представлением бюджета Российской Федерации. Основные документы, касающиеся разработки, утверждения и реализации государственных программ вышли в период 2010–2011 годов. Эти документы были разработаны в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 02 августа 2010 года № 588 «Об утверждении Порядка разработки, реализации и оценки эффективности государственных программ Российской Федерации». В конце 2012 года Государственная программа государственной программы Российской Федерации «Развитие атомного энергопромышленного комплекса на 2011–2015 гг. и на период до 2020 г.» была утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 19.07.2012 № 1306-рс. ФЦП ЯРБ полностью включена в госпрограмму, а временной период 2016–2020 годов в части проблематики обеспечения ядерной и радиационной безопасности представлен в форме подпрограммы 2. В рамках работ по разработке и обоснованию этой подпрограммы 2 на основе предложений организаций, имеющих на своем балансе ядерно и радиационно опасные объекты, был сформирован детализированный перечень мероприятий на период до 2020 года. Важно отметить, что до настоящего времени государственные программы не стали альтернативой федеральным целевым программам. В утвержденной госпрограмме «Развитие атомного энергопромышленного комплекса на 2011–2015 гг. и на период до 2020 г.» отсутствуют финансовые обязательства Российской Федерации на период после 2015 года, за исключением позиций уже определенных утвержденными ФЦП. Таким образом, после некоторого периода неопределенностей, стало ясно, что разработка ФЦП ЯРБ-2 — это необходимый шаг планирования в рассматриваемой сфере деятельности, а оптимальная продолжительность этого периода — десять лет.

Накопленный опыт реализации ФЦП ЯРБ совместно с оценками условий функционирования необходимых объектов инфраструктуры показывал, что существующие объемы финансирования и темпы решения накопленных проблем близки к оптимальным. В этой связи нельзя не остановиться на характеристике ФЦП ЯРБ как «самой дорогой программы спасения России от атомного прошлого» [51]. Прокомментируем только одну цитату из этого «труда»: *«Была создана программа освоения почти 150 миллиардов рублей за 8 лет, что по официальному обменному курсу на тот период равнялось 6,5 миллиардам долларов США. То есть, ежегодно запланировано выделять из федерального бюджета на цели преодоления последствий развития советского атомного военно-промышленного комплекса более 800 млн долл. Согласно экспертным оценкам, примерно столько же денег в сопоставимых ценах расходовалось в СССР ежегодно на развитие ядерных технологий в период «пиковой» активности»*. Это действительно мощно финансируемая программа, но:

Совокупное (за 8 лет) финансирование ФЦП ЯРБ меньше годовых расходов Министерства энергетики США на работы по ядерному наследию. Напомним также, что объемы наследия в США и России сопоставимы по масштабу, а работы в США начались на 20 лет раньше.

Объемы финансирования ФЦП ЯРБ в десятки раз ниже объемов государственного финансирования атомной промышленности в период «пиковой активности», сохранявшейся на протяжении более чем 30 лет (1950–1980 гг.).

Работа по концепции ФЦП ЯРБ 2 была начата в 2012 году. По состоянию на начало 2013 года анализировались три основных сценария решения проблемы обеспечения ядерной и радиационной безопасности: инерционный (пессимистический сценарий), гарантированного решения проблем (базовый сценарий) и сценарий интенсивного решения проблем. В основе выбора вариантов лежали определенные допущения об объемах бюджетного финансирования. Пессимистичный сценарий – бюджетное финансирование в объеме 180,0 млрд руб., базовый – 374,5 млрд руб., интенсивный – около 600 млрд руб. Эти варианты отличаются друг от друга темпами и объемами решения накопленных проблем и детализированным составом мероприятий. Отдельные мероприятия должны решаться во всех вариантах и с заданными параметрами выполнения и финансирования (далее базовые компоненты Программы).

Во всех вариантах предусматривалось внебюджетное финансирование, которое, главным образом будет ориентировано на обращение с вновь образующимися ОЯТ и РАО и вывод из эксплуатации. Увеличение бюджетного финансирования будет сопровождаться увеличением внебюджетного финансирования вследствие прямой экономической заинтересованности организации в сокращении издержек на безопасное содержание объектов наследия.

Предполагалось, что в **пессимистичном сценарии** бюджетное финансирование осуществляется в объемах на 30–40% ниже объемов финансирования ФЦП ЯРБ (в сопоставимых ценах). В этом случае планировалось сконцентрировать усилия на базовых компонентах программы:

Поддерживаются созданные технологии и процессы по переработке ОЯТ (блоки ДАВ-90, дефектное ОЯТ РБМК-1000, ОЯТ АМБ, хранимое на ФГУП «ПО «Маяк», перерабатываемое ОЯТ исследовательских реакторов) и размещению на централизованное сухое хранение (ОЯТ РБМК-1000 и ВВЭР-1000, находившегося на мокром хранении 20 и более лет). Развитие инфраструктуры – работы в ОДЦ по переработке ОЯТ выполняются в объемах, необходимых для отработки базовой технологии. Рабо-

ты по перерабатываемым в настоящее время видам топлива и топливу ЭГП-6 откладываются на следующие периоды.

Работы по РАО концентрируются на наиболее опасных объектах (приповерхностные водоемы-хранилища РАО и хранилища высокоактивных пульп) – возможно завершение этапов работ (или консервации в целом) водоемов хранилищ РАО и переводу в более безопасные формы высокоактивных пульп на ФГУП ПО Маяк (В-9 и В-17), ОАО «СХК» (ПХ-1, Б-1, Б-2, Б-25) и ФГУП «ГХК» (бассейны 354, 365) с изначальным объемом ЖРО более 1,3 млн куб. м. Завершается строительство приповерхностного пункта захоронения и строительство пускового комплекса пункта захоронения высокоактивных радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижне-Канский массив).

**В области вывода из эксплуатации** – завершаются начатые в рамках ФЦП ЯРБ работы по 50 ядерно и радиационно опасным объектам, в том числе 2 промышленным уран-графитовым реакторам с реабилитацией около 1,5 тыс. кв. м радиационно загрязненных территорий.

Реконструкция и модернизация государственных систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования осуществляется с целью обеспечения их функционирования с уже существующими параметрами охвата территорий.

При принятии этого сценария и отсутствии резкого наращивания темпов работ в последующий период полное решение накопленных проблем следует ожидать только за рамками 2100 года и без гарантий отсутствия радиационных аварий на отдельных объектах вследствие полной деградации барьеров безопасности.

**Базовый сценарий** (сценарий гарантированного решения проблем) предусматривал бюджетное финансирование в объемах, соответствующих объемам финансирования ФЦП ЯРБ (в сопоставимых ценах). В сравнении с пессимистическим сценарием он характеризовался существенным расширением фронта и темпов работ. При сохранении этих темпов в последующие периоды можно было ожидать полное решение проблем ядерного наследия к 2070 году с полным исключением радиационных аварий вследствие деградации барьеров безопасности. В этом случае достигалось существенное (около 25%) уменьшение интегральной стоимости решения проблем ядерного наследия в сравнении с первым вариантом. Это уменьшение обусловлено сокращением затрат на сохранение в безопасном состоянии ЯРОО (уменьшение по времени) и уменьшения стоимости их вывода из эксплуатации.

Интенсивный сценарий предусматривал существенное (почти в 2 раза) увеличение бюджетного финансирования по сравнению с базовым вариантом.

Реализация интенсивного сценария приведет к снижению общей стоимости решения накопленных проблем ядерного наследия в сравнении с базовым сценарием на 15%. При дальнейшей реализации вышеуказанного сценария полное решение проблем ядерного наследия ожидается до 2060 года.

Анализ рассмотренных вариантов показывал, что реализация пессимистического варианта сопряжена со следующими рисками и издержками:

1. Сохранятся и возрастут риски, связанные с обеспечением безопасности наиболее проблемных видов ОЯТ и РАО, образовавшихся в период 50–80 годов прошлого века, и отдельных остановленных ядерно и радиационно опасных объектов.
2. Объем расходов эксплуатирующих организаций на содержание находящихся в федеральной собственности ОЯТ и РАО и остановленных объектов будет расти, что негативно скажется на экономических параметрах их деятельности.

3. Развитие систем радиационного мониторинга, аварийного реагирования и медико-санитарного обеспечения не будет соответствовать уровню угроз и рисков, связанных с технологическим развитием.

Интенсивный и базовый варианты обеспечивают реализацию государственной политики в области ядерной и радиационной безопасности и укрепление позиций российской атомной энергетики на мировых рынках. Однако при реализации базового варианта более эффективно используется созданная инфраструктура, минимизируются транспортные затраты, используется опыт «лучших практик» и обеспечивается более равномерная нагрузка на бюджет после 2025 года.

По состоянию на весну 2013 года планировалось, что концепция ФЦП ЯРБ-2 в 2013 году будет согласована всеми заинтересованными федеральными органами исполнительной власти и представлена в Правительство Российской Федерации.

### **Заключение**

Содержание данной главы позволяет сделать практически значимые выводы о программно-целевом методе решения накопленных проблем и кумулятивном эффекте, достигаемом при привлечении средств из других источников.

Итоги пяти лет реализации ФЦП ЯРБ позволяют сделать следующие выводы:

1. Программа стала играть ведущую роль в решении накопленных проблем в сфере долгосрочного обеспечения ядерной и радиационной безопасности.
  - 1.1. Реализация мероприятий ФЦП ЯРБ позволила коренным образом изменить концептуальные подходы к решению накопленных проблем и развитию систем завершающих стадий жизненного цикла. Организации отрасли, эксплуатирующие ядерно и радиационно опасные производства и объекты наследия, завершают переход от практики поиска и реализации временных решений, обеспечивающих ядерную и радиационную безопасность в краткосрочной перспективе, к выработке решений, реализация которых обеспечит либо долгосрочную безопасность, либо окончательное решение конкретной накопленной проблемы.
  - 1.2. Появление перспектив решения накопленных проблем инициировало увеличение расходов организаций на их решение. Только в части мероприятий ФЦП ЯРБ расходы организаций выросли с 1,3 млрд руб. в 2008 году до 2,5 млрд руб. в 2012 году. Реализация мероприятий федеральной целевой программы комплексной утилизации АПЛ и ФЦП ЯРБ стимулировала привлечение средств зарубежных участников глобального партнерства в объеме, превышающем 6 млрд долларов США.
  - 1.3. Создана национальная система управления работами по ядерному наследию, состоящая из государственного заказчика-координатора в лице Госкорпорации «Росатом» и государственных заказчиков. Система обеспечивает возможность реализации мероприятий по повышению ядерной и радиационной безопасности в условиях трансформации основных государственных заказчиков, нарастания требований в области обеспечения ЯРБ. Эта система продемонстрировала возможность своевременного осуществления корректирующих действий по конкретным мероприятиям в условиях резкого увеличения объема работ. Одновременно был определен потенциал развития системы управления, обусловленный, прежде всего, новыми требованиями в области обращения с ОЯТ и общим развитием рынка



услуг на завершающих стадиях жизненного цикла объектов использования атомной энергии.

- 1.4. Организационными – участниками ФЦП ЯРБ накоплен новый опыт реализации крупных мероприятий в области решения накопленных проблем (ФГУП «ГХК», ФГУП ПО «Маяк» и др.). Опыт получен после длительного периода функционирования в стационарном режиме, когда основной, а зачастую и единственной формой осмысления вопросов безопасности являлось формирование пакета документов для продления сроков действия лицензий органами регулирования безопасности. Этот опыт включает в себя работу с проектными и научными организациями, прохождение различного рода экспертиз, в том числе государственную экологическую экспертизу, экспертизу органов регулирования безопасности, главгосэкспертизу, общественные слушания и многие другие компоненты, предусмотренные действующим законодательством. Второй составляющей этого опыта является опыт взаимодействия с подрядными организациями и поставщиками, число которых достигало многих десятков. Начало практических работ выявило большое количество важных для безопасности аспектов, связанных с качеством поставляемого оборудования и материалов, формами и способами реализации программ обеспечения качества, процедурами оценки соответствия. Опыт их решения способствовал технологическому и организационному развитию десятков организаций, в том числе за пределами отрасли. Напомним, что содержащаяся в паспорте программы предварительная оценка ожидаемой эффективности и результативности ФЦП ЯРБ включала «повышение занятости имеющегося высококвалифицированного персонала организаций атомной отрасли и смежных отраслей (до 10 тыс. человек)». Этот положительный эффект можно считать состоявшимся.
- 1.5. Комплекс НИОКР, выполняемых в рамках ФЦП ЯРБ, дав принципиально новые практические результаты (экологические аспекты и риски для здоровья, прогнозирование и обоснование безопасности, новые технологии) стимулировал несколько процессов, важных для обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Среди них сохранение научного потенциала и высокой компетенции по ряду задач, которые длительное время регулярным образом не финансировались; омоложение научных коллективов, в том числе в организациях, которые были близки к кризисному состоянию; возвращение в международную научную кооперацию по ряду направлений.
2. Перечень мероприятий программы, общий объем финансирования, соотношение финансирования отдельных направлений расходов (НИОКР, прочие, капитальные вложения) можно признать рациональным и обоснованным.
  - 2.1. Сформированный в 2006 году перечень мероприятий в целом охватывал наиболее напряженные и приоритетные ситуации и задачи. В процессе реализации ФЦП ЯРБ было осуществлено 6 корректировок, обусловленных в том числе изменяющимися параметрами федерального бюджета и проработкой целесообразности сохранения параметров отдельных мероприятий. В процессе корректировки была пересмотрена и снижена приоритетность 19 мероприятий (5% от общего количества), первоначальная стоимость работ по которым составила около 1,4% от суммарных затрат на программу.
  - 2.2. Вопреки некоторым прогнозам, организации отрасли справились с резким увеличением объема работ по наследию. Однако по большому количеству

мероприятий происходили корректировки графика финансирования, в том числе по причине запаздывания в проведении различного рода экспертиз. Дальнейший резкий рост темпов работ по наследию после 2015 года не оправдан по технологическим и организационным ограничениям.

- 2.3. В процессе реализации программы выявились определенные проблемы, связанные с установленным соотношением между отдельными направлениями расходования средств. В частности, часть работ, финансирование которых велось за счет средств капитальных вложений, в том числе работы по выводу из эксплуатации, не в полной мере соответствуют инвестиционной деятельности.
- 2.4. В структуре НИОКР преобладали работы, обеспечивающие реализацию одного или нескольких мероприятий или решение задач одного из государственных заказчиков. Установлена потребность в постановке и реализации крупных НИОКР, в том числе межведомственного характера.
3. Достигнутые фактические результаты по программе обеспечили радикальное повышение уровня обеспечения ядерной и радиационной безопасности почти по всем аспектам ядерного наследия.
  - 3.1. По всем включенным в программу ядерно и радиационно опасным объектам, достигнут прогресс, заключающийся:
    - в понимании и обоснованности безопасности конечного состояния объекта, а в ряде случаев и вновь выявленных осложнений;
    - в реализации одного из этапов работ, таких как проведение комплексного инженерно-радиационного обследования, разработка и обоснование проекта ведения работ, получение лицензии;
    - в практическом выполнении одного из этапов, завершении работ по пусковому комплексу или полном выполнении комплекса работ.
  - 3.2. В области обращения с ОЯТ:
    - Строительством пускового комплекса сухого хранилища ХОТ-2 на ФГУП «ГХК» обеспечена возможность приема ОЯТ РБМК-1000 на долговременное хранение. Начат вывоз ОЯТ с Ленинградской АЭС;
    - Реконструкцией мокрого хранилища ХОТ-1 на ФГУП «ГХК» обеспечена возможность продолжения приема ОЯТ ВВЭР-1000 на долговременное хранение.
    - Начат вывоз ОЯТ исследовательских реакторов из научных центров (ОАО «ГНЦ НИИАР», ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», НИЦ «Курчатовский институт»).
    - Ведутся работы по развитию перерабатывающего завода РТ-1 для приема на переработку дефектного ОЯТ РБМК-1000 и ОЯТ АМБ.
  - 3.3. В области обращения с РАО:
    - Повышена безопасность Теченского каскада водоемов (ФГУП «ПО «Маяк») и выработаны стратегические подходы к ее долгосрочному обеспечению.
    - Разработаны технологии очистки загрязненных вод ряда производств ФГУП «ПО «Маяк» и ведутся работы по строительству комплекса цементирования РАО, которые позволят прекратить размещение ЖРО в приповерхностных хранилищах ЖРО.
    - Получены первые референции по консервации бывших приповерхностных хранилищ ЖРО (ФГУП «ГХК», ОАО «СХК»).

- Построены хранилища РАО общей емкостью 12 тыс. куб. м.
  - Собраны, вывезены на хранение или обеспечены защитными барьерами РАО общей активностью 9,5 ЭБк.
- 3.4. В области вывода из эксплуатации:
- Завершены работы по выводу из эксплуатации и ликвидации 10 объектов, включая крупные производства.
  - Развернуты работы по подготовке к выводу из эксплуатации 123 объектов.
  - Разработаны и применяются новые технологии вывода из эксплуатации, в том числе с применением средств робототехники.
- 3.5. В области систем радиационного контроля, аварийного реагирования и медико-санитарного обеспечения:
- Созданы новые объектовые и территориальные АСКРО и объектовые и территориальные аварийные центры.
  - Созданы новые программно-технические комплексы прогнозирования радиационной обстановки, которые нашли практическое применение в ходе оценки последствий аварии на АЭС «Фукусима 1».
4. Разработкой проектов ведения работ, инвентаризацией ядерно и радиационно опасных объектов создан задел для планирования дальнейших работ по решению накопленных проблем на период до 2025 года и на дальнейшую перспективу. В области обращения с РАО подобную задачу, но уже в полном объеме, предстоит выполнить в период 2013–2014 годов в ходе первичной регистрации радиоактивных отходов.
5. Несмотря на наличие внешних (снижение объемов бюджетного финансирования, ужесточение требований к проведению работ по критериям безопасности, реорганизация государственных заказчиков, болезненное отношение общественности к аварии на АЭС «Фукусима») и внутренних (результаты КИРО, пересмотр проектных решений и т.п.) факторов, затрудняющих реализацию мероприятий Программы в первоначально установленном темпе, целевые индикаторы и показатели Программы достигали плановых значений. Это, несомненно, заслуга большого коллектива промышленных, научных, проектных и подрядных организаций — исполнителей мероприятий, среди которых следует выделить коллективы ФГУП «ГХК», ПО «Маяк», НИЦ «Курчатовский институт», ОАО «ВНИИНМ», ОАО «ВНИПИЭТ», ОАО «Бурягэсстрой». Координация и синхронизация работ этих коллективов достигалось главным образом за счет эффективной работы системы управления, обеспечивающей подготовку своевременных управленческих решений по отдельным мероприятиям и проведение в установленном порядке корректировки Программы.

В заключение следует подчеркнуть, что ФЦП ЯРБ является программой неотложных мер и в 4–5 раз менее ресурсоемкая по сравнению с аналогичными программами ведущих ядерных держав и прежде всего США и Великобритании.

Достигнутые за 5 лет реализации Программы результаты дают право с оптимизмом смотреть в будущее и быть уверенным в том, что ФЦП ЯРБ — программа неотложных мер по решению ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации, будет успешно выполнена, а после 2015 года начнется реализация первого этапа решения проблем ядерного наследия в рамках ФЦП ЯРБ-2.

## Литература

1. Крюков О.В. ФЦП ЯРБ как первый шаг реализации долгосрочной стратегии в области заключительных стадий жизненного цикла в атомной отрасли // «Ядерная и радиационная безопасность России». Вып. 12. ГК «Росатом». — М., 2012.
2. 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. — 2012. — 356 с.
3. Крюков О.В., Васильев В.А., Никишин Д.А., Линге И.И., Ободинский А.Н. Развитие системы управления ФЦП ЯРБ // Ядерная и радиационная безопасность России. Вып. 12. ГК «Росатом». — М., 2012.
4. Бобров Н.Г., Захарова О.Е., Илюшкин А.И., Ободинский А.Н., Приходько А.В. Мониторинг реализации мероприятий ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» // Ядерная и радиационная безопасность России. Вып. 12. ГК «Росатом». — М., 2012.
5. Гаврилов П.М., Безопасность «сухого» и «мокрого» хранилищ ОЯТ. Доклад в МАГАТЭ, 2012 г.
6. Гаврилов П.М., Ревенко Ю.А. Возможности ГХК по обращению с перспективными видами топлива АЭС. Доклад на конференции в ГХК, 2012 г.
7. Давиденко Н.Н., Беспалов В.Н., Калинин В.И., Крицкий В.Г. и др. Технологический процесс перевода ОЯТ РБМК-1000 с «мокрого» на «сухое» хранение. ГИ ВНИПИЭТ, 2010 г.
8. Юшицин К.В. Вывод из эксплуатации уран-графитовых реакторов ОАО «СХК», ФГУП «ГХК», ПО «Маяк». Проблема облученного графита // Доклад на конференции «Глобальное партнерство Группы восьми: оценка и перспективы дальнейшего сотрудничества в области ядерной и радиационной безопасности», Москва, 2012 г.
9. Волков В.Г., Иванов О.П., Колядин М.И., Лемус А.В., Павленко В.И., Семенов С.Г., Чесноков А.В., Шиша А.Д. Опыт ликвидации радиационного наследия в НИЦ «Курчатовский институт» // Доклад на конференции «Глобальное партнерство Группы восьми: оценка и перспективы дальнейшего сотрудничества в области ядерной и радиационной безопасности», Москва, 2012 г.
10. Свиначенко С.И. Вывод из эксплуатации объектов «ядерного наследия» ОАО «ТВЭЛ» // Доклад на конференции «Глобальное партнерство Группы восьми: оценка и перспективы дальнейшего сотрудничества в области ядерной и радиационной безопасности», Москва, 2012 г.
11. Стратегический план повышения радиационной безопасности объектов Российской академии наук. М: ИБРАЭ РАН. 2012, 83 с.
12. Баторшин Г.Ш. Стратегия обращения с жидкими радиоактивными отходами на ПО «Маяк» // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. Москва, 2011. Т.1.
13. Лобанов Н.Ф., Бейгул В.П., Камнев Е.Н., Лопатин П.В., Ревенко Ю.А., Шрамко И.В. Федеральный объект окончательной подземной изоляции долгоживущих РАО на Горно-химическом комбинате. // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды, Москва, 2011. Т.1.
14. Андерсон Е.Б. Результаты комплексных геологических исследований Нижнеканского массива для обоснования возможности его использования для захоронения отвержденных радиоактивных отходов / Е.Б. Андерсон, В.М. Даценко, Е.Ф. Любцева, В.Л. Миловидов и др. // Материалы КНТС «Исследования гранитовидов Нижнеканского массива для захоронения РАО», г. Железногорск, 1998. — СПб. — 1999.
15. «Декларация о намерениях» строительства первоочередных объектов окончательной изоляции радиоактивных отходов (Красноярский край, Нижнеканский массив), 2008.
16. Лаверов Н.П., Величкин В.И., Омеляненко Б.И., Юдинцев С.В., Петров В.А., Бычков А.В. Изоляция отработавших ядерных материалов: геолого-геохимические основы. М.: ИГЕМ РАН, 2008. — 280 с.
17. Андерсон Е.Б., Белов С.В., Камнев Е.Н., Колесников И.Ю., Лобанов Н.Ф., Морозов В.Н., Татаринцов В.Н. Подземная изоляция радиоактивных отходов / Под ред. В.Н. Морозова. — М.: «Горная книга», 2011. — 592 с.
18. Терентьев С.Г. Результаты работ по консервации поверхностных хранилищ жидких РАО — бассейнов Б-1, Б-2 ОАО «СХК». Презентация на АтомЭКО-2012», 16-17 октября 2012. Москва
19. Захарова Е.В., Козырев А.С., Зубков А.А., Аверьянов Б.Ю.. Создание внешних барьеров безопасности как способ предотвращения миграции радионуклидов из хранилищ РАО // Ядерная и радиационная безопасность России. Вып. № 13, Москва, 2012, с. 133–139.
20. Алексахин Р.М., Булдаков Л.А., Губанов В.А. и др. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. Под общей ред. Л.А.Ильина и В.А.Губанова. — М., ИздАТ, 2001. — 752 с.
21. Баранов С.В., Баторшин Г.Ш., Мокров Ю.Г., Глинский М.Л., Дрожко Е.Г., Линге И.И., Уткин С.С. Теченский каскад водоемов ФГУП «ПО «Маяк»: текущее состояние и перспективы // Вопросы радиационной безопасности, №1, 2011. С. 5–15.
22. Халий И.А. Экологическое движение и власть // Полис (Политические исследования) № 4, 2008. [http://www.isras.ru/Polis\\_2008-04.html](http://www.isras.ru/Polis_2008-04.html)
23. Назаров А.Г., Бурлакова Е.Б., Осанов Д.П., Сакулин Г.С., Шадрин Л.Н., Шевченко В.А., Яковлев Е.А., Селезнев И.А., Миронова Н.И., Куранов К.В., Павлинова И.И. Резонанс: Юж.-Урал. атомная: быть или не быть? — Р34 Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1991.— 56 с. ISBN 5–7688–0557–5.
24. «Заключение по результатам проработки радиационных и радиоэкологических аспектов строительства Южно-Уральской АЭС» от 28.12.2006 г. Подготовлено рабочей группой, созданной приказом Росатома от 12.10.2006 г. для проработки радиационных и радиоэкологических аспектов строительства Южно-Уральской АЭС.



25. СанПин 2.6.1.24-03. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03) (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22 апреля 2003 г.).
26. Слюнчев О.М., Бобров П.А., Кичик В.А., Стариков Е.Н. Разработка и опытно-промышленные испытания жидких радиоактивных отходов низкого уровня активности // Ядерная и радиационная безопасность России. № 13, 2012. стр. 24–35.
27. Федеральный закон от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
28. Григорьев А.В. Глобальное партнерство – инструмент решения проблем «ядерного наследия». // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. №4, 2012, с. 42–47.
29. Амундсен И., Горбачев А. Контактная экспертная группа МАГАТЭ (КЭГ) и ее роль в работе «Группы восьми» // Материалы международной конференции «Глобальное партнерство «Группы восьми»: оценка и перспективы дальнейшего сотрудничества в области ядерной и радиационной безопасности» Москва, 21–23 декабря 2012. www.NuclearSafety.ru
30. Антипов С.В., Ахунов В.Д. КЭГ и международное сотрудничество в рамках программ ядерного наследия в России, www.iaea.org
31. Захарчев А.А., Мартыненко С.В., Урывский В.И. и др. Результаты работ по утилизации АПЛ, НК с ЯЭУ, судов АТО и реабилитации БТБ в рамках Глобального партнерства. Перспективы сотрудничества. См. 29.
32. Митанн Д. Программа Германии в рамках Глобального партнерства с Россией // Презентация на 26-ом пленарном заседании КЭГ МАГАТЭ Париж, 18–19 октября 2012 г.
33. Schmidt H. Поддержка утилизации АПЛ в России со стороны Германии. Состояние работ по проекту в губе Сайда (материалы МАГАТЭ, 2007).
34. Митанн Д. Создание Регионального центра кондиционирования и долговременного хранения РАО в губе Сайда // Презентация на семинаре КЭГ МАГАТЭ «Осуществление международных программ ядерного наследия в России» Хельсинки, Финляндия, 26–27 апреля 2012 г.
35. Захарычев А.А. Обращение с РАО в губе Сайда // Презентация на семинаре КЭГ МАГАТЭ «Осуществление международных программ ядерного наследия в России» Хельсинки, Финляндия, 26–27 апреля 2012 г.
36. Начало постановки первых реакторных отсеков в пункт долговременного хранения реакторных отсеков (ПДХРО) на Дальнем Востоке // Презентация ДальРАО на 26-ом пленарном заседании КЭГ МАГАТЭ Париж, 18–19 октября 2012 г.
37. Пименов А.О. Гонцарюк Н.И. Состояние и перспективы вывода из эксплуатации ядерных и радиационно опасных объектов в Тихоокеанском регионе Российской Федерации. Из материалов сайта <http://www.iaea.org/>
38. Григорьев А.С. Итоги, очередные задачи и перспективы дальнейших работ по выводу из эксплуатации РИТЭГов в России в рамках Глобального партнерства. См. 29.
39. Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Высоцкий В.Л. и др. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря («Белая книга-2000»). М. ИздАТ, 2005, 624 с.
40. Временные санитарные требования к захоронению в морях РАО, 1966 г.
41. Факты и проблемы, связанные с захоронением радиоактивных отходов в морях, омывающих территорию Российской Федерации // Материалы доклада Правительственной комиссии по вопросам, связанным с захоронением в море радиоактивных отходов, созданной распоряжением Президента Российской Федерации от 24.10.1992 г. N 613-рп. Администрация Президента РФ, М., 1993 г.
42. Predicted Radionuclide Release from Marine Reactors Dumped in the Kara Sea. IAEA-TECDOC — 938, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1997.
43. Саркисов А.А., Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Никитин В.С. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. М.: ИБРАЭ РАН, 2009. — 82 с.
44. Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic (The First International Conference, Kirkinen, Norway, 23–27 August 1993). Ed. by Per Strand and Elis Holm, Osteras, 1993 (433 pp).
45. Environmental Radioactivity in the Arctic (Proc. of the Second Intern. Conf, Oslo, 1995). Ed. by P.Strand and A.Cooke. Osteras, Norway, 1995.
46. Environmental Radioactivity in the Arctic (Proc. of the Third Intern. Conf, Oslo, 1997). Ed. by P.Strand. Osteras, Norway, 1997.
47. Environmental Radioactivity in the Arctic (Proc. of the 4-th Intern. Conf, Edinburgh, Scotland, 20–23 September 1999). Ed. by P.Strand and T.Jolle. Osteras, Norway, 1999.
48. Environmental Radioactivity in the Arctic and Antarctic (Proc. of the 5-th Intern. Conf, St.Peterburg, Russia, 16–20 June 2002). Ed. by P.Strand, T.Jolle and Sand A. Osteras, Norwegian Radiation Protection Authority, 2002 (400 p).
49. International Meeting on Assessment of Actual and Potential Consequences of Dumping of Radioactive Waste into Arctic Seas (Oslo, Norway, 1–5 February 1993). Working Material of the IAEA, Vienna, 1993 (194 pp).
50. Sources of Radioactivity in the Marine Environment and their Relative Contributions to Overall Dose Assessment from Marine Radioactivity (MARDOS), IAEA-TECDOC-838, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1995.
51. Ларин В. Самая дорогая программа спасения России от атомного прошлого. Беллона, 2009 г.

## ГЛАВА 5

### Создание ЕГС РАО

#### 5.1. Ускорение процессов изменения системы обращения с РАО

Вступление в силу федерального закона от 11 июля 2011 г. № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (далее 190-ФЗ) стимулировало процесс создания ЕГС РАО и ускорение и без того высоких темпов преобразования системы обращения с РАО в Российской Федерации в целом (табл. 5.1.1), в том числе, в областях формирования новой системы нормативно-правовых актов, регулирующих обращение с РАО, структуры управления, разработки общей стратегии, выработки отраслевой технической политики, планов и намерений организаций и закрепления правовой основы для дальнейших работ по накопленным РАО.

Несмотря на некоторое отставание от изначально заданного сверхвысокого темпа формирования системы новых нормативно-правовых актов (поручение Правительства Российской Федерации от 31.10.2011 г.), к началу 2013 года ключевые документы, позволяющие задействовать механизмы ЕГС РАО, были приняты. Завершение формирования новой системы нормативно-правовых актов и федеральных норм и правил планируется в 2015 году. Как и предполагалось [1], процесс формирования документов отразил и определенные сложности согласования и синхронизации ведомственных и корпоративных интересов и усилий, а также трудности в понимании содержания, роли и значения его отдельных норм, несмотря на достаточно быстрый выход комментариев [2].

К началу 2013 года ситуация в области формирования ЕГС РАО может быть охарактеризована как переходный период, в рамках которого идут следующие процессы.

Ведутся работы по решению накопленных проблем в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (далее ФЦП ЯРБ). В стадии проработки находится перечень мероприятий на временной период 2016–2025 годы. Некоторые из мероприятий программы предусматривают создание объектов, которые будут использоваться для переработки как накопленных, так и вновь образующихся (операционных) РАО.

На ряде предприятий (АЭС и др.) создаются мощности по переработке, кондиционированию и хранению РАО.

Ведется анализ проектов локальных стратегий по обращению с РАО в организациях атомной отрасли и выявление типичных проблем. Завершить разработку локальных стратегий предполагается к осени 2013 года.

Идет первичная регистрация РАО и установление мест их размещения, которые будут завершены в 2014 году. На этой основе будут определены дальнейшие действия по каждому объекту наследия РАО.

Продолжается формирование нормативно-правовой базы в области обращения с РАО. Предусмотренный Правительством Российской Федерации срок завершения работ – 2015 год.

## Основные изменения в сфере обращения с РАО за 2005–2012 годы

2007 год	Инструмент	2013 год
ТКВ – угроза переполнения, идут работы по укреплению плотины	ФЗЦ ЯРБ	ТКВ – укреплена плотина, работает первая очередь общеступавной канализации. Создаются комплексы очистки и цементирования ЖРО
Бассейны ЖРО и пульпоохранилища		Закрываются два водоема – Б-354 (ГХК), Б-2 (СХК), идут работы по семи объектам (В-9 и В-17 – 1-2 года до прекращения сбросов; Б-1, Б-25, бассейны 365, 354а, 366)
На обращение с накопленными РАО из федерального бюджета выделяется 50 млн руб. в год (5 объектов)		На обращение с накопленными РАО из федерального бюджета выделяется 4 млрд руб. в год* (45 крупных проектов)
Объединенная конвенция по безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и безопасности обращения радиоактивными отходами недавно ратифицирована	Закон о ратификации Объединенной конвенции	Национальные доклады Российской Федерации рассматриваются на совещаниях Договаривающихся сторон
Перспективы продолжения работ по накопленным РАО не определены	Закон по РАО	Перспективы продолжения работ по накопленным РАО определены – накопленные РАО закреплены в федеральной собственности
Соблюдение ФНП обеспечивает текущую безопасность. Идет накопление РАО	Закон по РАО	Принят закон и основные подзаконные акты. Активное формирование ЕГС РАО
Специального подразделения, ответственного за развитие системы обращения с РАО, в федеральных органах управления использования атомной энергии нет	Полномочия Госкорпорации «Росатом», Закон по РАО	Госкорпорация «Росатом» законодательно наделена полномочиями органа государственного управления в области обращения с радиоактивными отходами
Организация, ответственная за захоронение РАО, отсутствует	Закон по РАО, полномочия Госкорпорации «Росатом»	Создан Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами
Обращение с РАО на предприятиях автономно и целиком ориентировано на хранение РАО на площадке предприятия	Закон по РАО, полномочия Госкорпорации «Росатом»	Идет разработка локальных стратегий обращения с РАО и оптимизация переработки РАО (57 площадок)

\* – в среднем за 2009–2015 гг.

Реализуется миссия МАГАТЭ по оценке безопасности захоронения (закачки) ЖРО, при благоприятном результате возможно формирование нейтрального (положительного) заключения.

В ходе работ по выбору мест размещения пунктов захоронения РАО выявлены проблемы, связанные с общественной приемлемостью, для устранения которых требуются значительные временные и иные издержки.

Продолжается общий процесс улучшения экологического облика Госкорпорации «Росатом» и ее подведомственных организаций. Развитие завершающих стадий жизненного цикла рассматривается не как дополнительная к основному производству деятельность, а как индикатор технологического состояния атомной отрасли [3]. Однако в отношении безопасности обращения с РАО пока преобладают негативные общественные оценки.

Основные процессы тесно взаимосвязаны (рис. 5.1.1) и в конечном итоге определяют объем обязательств по наследию и планы достижения организациями конечного состояния систем обращения с РАО, предполагающие (во многих, но не во всех случаях) передачу вновь образующихся РАО на захоронение.

Таким образом, в работах по вновь образующимся РАО в основном создана система нормативно-правовых актов (решения Правительства Российской Федерации, приказы Госкорпорации «Росатом», Минприроды России), которая позволит уже в этом году запустить процесс финансирования инвестиционной программы Национального оператора по обращению с радиоактивными отходами. Определены объе-

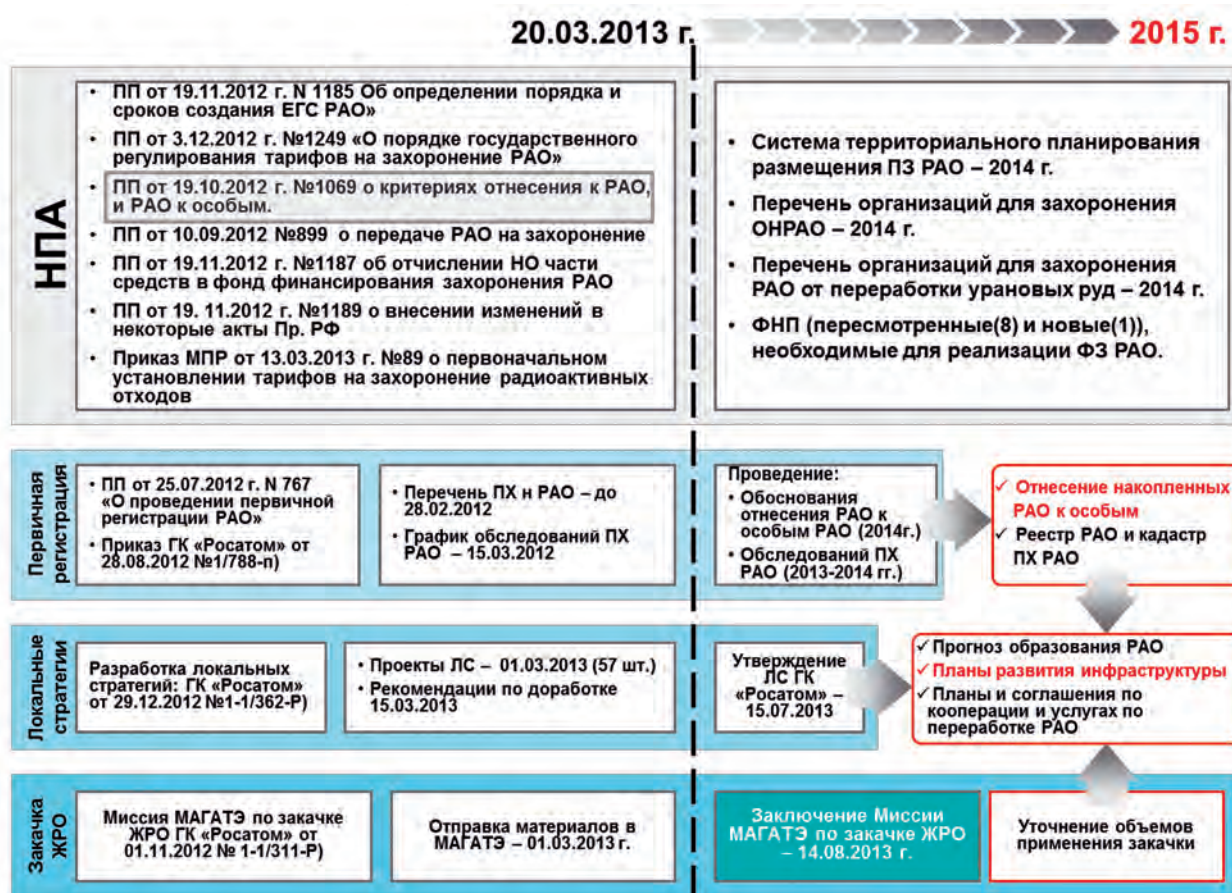


Рис. 5.1.1. Основные процессы по формированию ЕГС РАО в период до 2015 года



мы отчислений организаций, в результате деятельности которых образуются радиоактивные отходы, подлежащие захоронению. Минприроды России подписан приказ по тарифам, который в настоящее время находится на регистрации в Минюсте России. Процесс проектирования трансформации систем обращения с РАО в организациях отрасли также стартовал. В настоящее время решается задача согласования планов и намерений отдельных организаций с целью минимизации затрат. Разработка локальных стратегий, их утверждение и последующая проектная работа позволят детализировать перечень мероприятий, сроки их реализации и объем требуемых финансовых ресурсов.

Работы по накопленным РАО также вышли на принципиально новый этап. Идущий процесс первичной регистрации, в отличие от проводившихся в 2000 и 2005 годах инвентаризаций РАО, имеет своей целью не столько определение количества накопленных РАО, но и конечных состояний имеющихся пунктов хранения и мест размещения.

Несмотря на тяжелые стартовые условия (в организациях перерабатывается менее 30% от подлежащих переработке РАО), идущие процессы позволяют прогнозировать, что в период до 2020 года начнется разгрузка хранилищ организаций атомной промышленности в значимом масштабе и захоронение РАО. В последующие годы объемы захоронения будут расти и выйдут на показатели, удовлетворяющие потребности в захоронении, как по операционным, так и по накопленным РАО.

Даже крупноблочное (рис. 5.1.2) рассмотрение функционирования ЕГС по операционным РАО показывает, что все элементы системы должны быть своевременно сформированы. На этапе запуска ЕГС РАО необходимо исключить риски, связанные с неготовностью одного из компонентов системы или их несбалансированным развитием. Кратко рассмотрим эти риски.

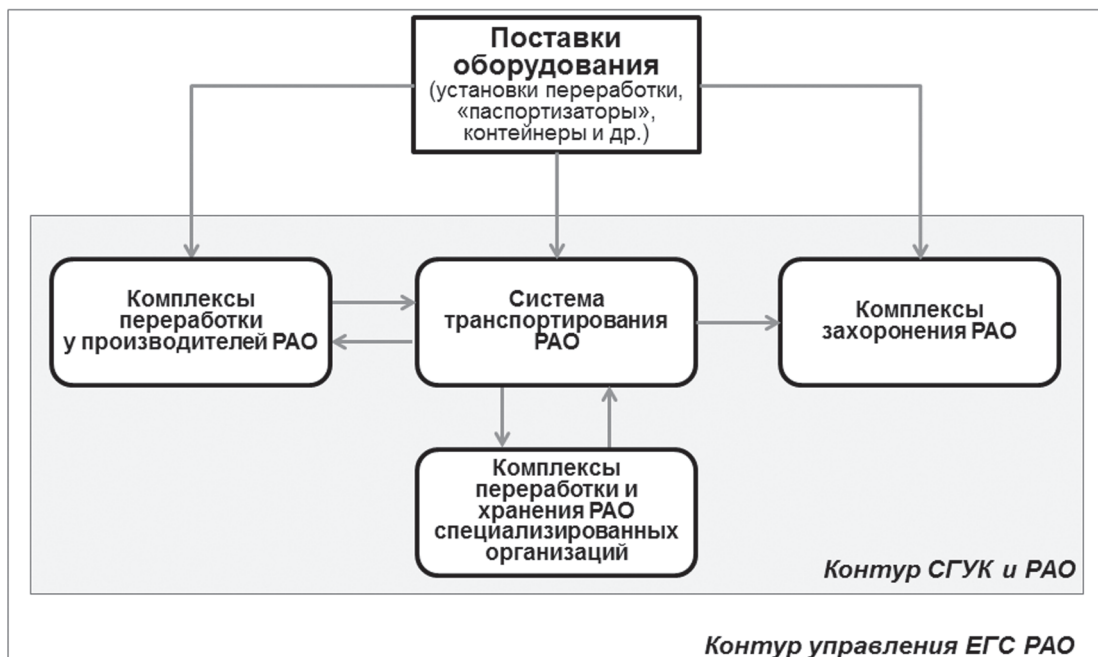


Рис. 5.1.2. Основные компоненты ЕГС по обращению с операционными РАО

Во-первых, это неготовность к функционированию какого-то из элементов ЕГС РАО, поскольку в настоящее время ни один из них не существует в полном объеме. Отсутствие возможности приема РАО на захоронение, недостаточные мощности переработки и кондиционирования РАО, системы транспортирования РАО, невозможность рационального планирования приема и загрузки РАО в пункт захоронения, в том числе в силу отсутствия сквозной системы учета паспортизируемых РАО и многие другие причины могут создать ситуацию, когда понадобится создавать новые мощности хранения РАО (кондиционированных или некондиционированных).

Во-вторых, это несбалансированное развитие мощностей переработки РАО. В рамках каждой отдельной организации экономически эффективно решить проблему переработки в принципе невозможно. Как правило, у каждой технологии и установки по переработке РАО есть интервал производительности, в котором экономические показатели наиболее приемлемы, и в большинстве случаев этот диапазон не совпадает с потребностями предприятия.

В-третьих, это риски, связанные с задержкой развития процессов трансформации в одной или нескольких организациях. Эти задержки могут быть связаны с исходно низким состоянием переработки, экономическими показателями деятельности, неудачным определением отдельных параметров регулирования для этой организации (сроки промежуточного хранения, прогнозы образования, классы для целей захоронения, тарифы на захоронение отдельных классов и др.).

Задача планирования создания еще более усложняется в связи с наличием второго направления деятельности, в рамках которого реализуются работы по накопленным РАО. Это, прежде всего, извлечение, переработка и захоронение удаляемых РАО и консервация особых РАО (рис. 5.1.3). К ним в ближайшие годы добавится постоянно растущий поток РАО от вывода из эксплуатации. Достаточно очевидно, что эти подсистемы – по обращению с операционными и накопленными РАО – не могут развиваться отдельно.

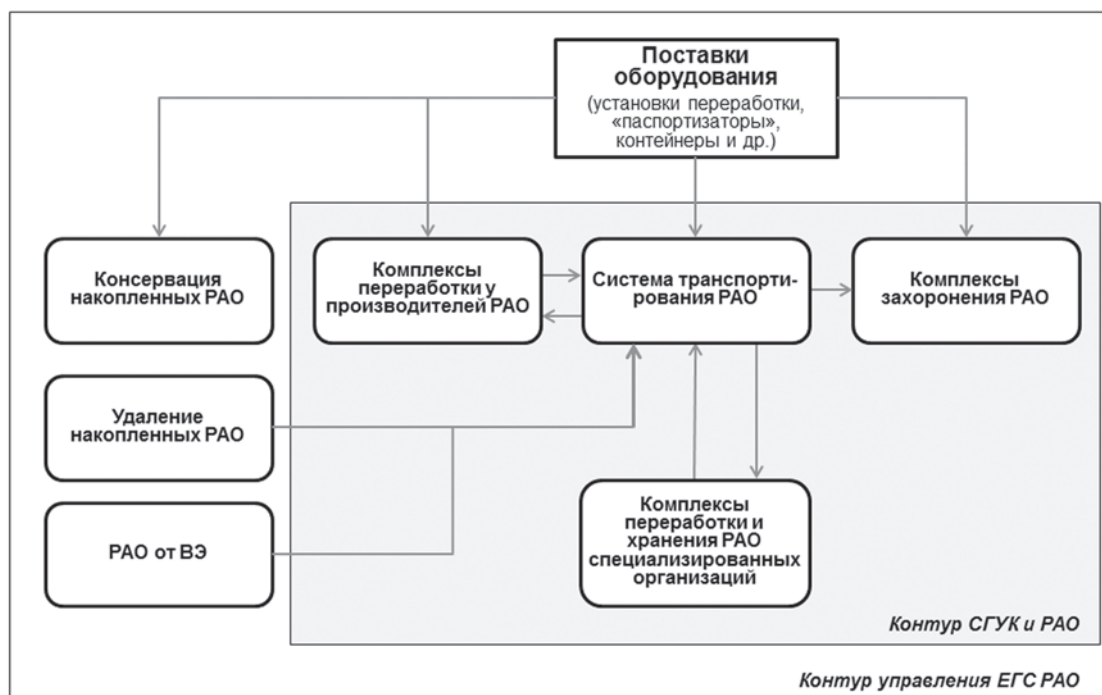


Рис. 5.1.3. Основные компоненты ЕГС по обращению с операционными и накопленными РАО

В настоящее время трудно сделать детальные оценки финансовых затрат на создание и функционирование всех компонент ЕГС РАО. Возможны лишь предварительные оценки (рис. 5.1.4) по РАО, образующимся при использовании атомной энергии. Следует отметить, что по ряду составляющих эти оценки чрезвычайно чувствительны к содержанию регулирующих документов и успешности прохождения отдельных процессов (первичная регистрация, планирование развития мощностей переработки РАО, территориальное планирование размещения пунктов захоронения). Например, вследствие необоснованного отнесения большого количества накопленных РАО к категории удаляемых возможен резкий (на порядки) рост обязательств по накопленным РАО. Несмотря на ряд неопределенностей, по отдельным направлениям эти детализированные оценки уже сделаны (раздел 5.2).

Для начальной стадии работ по созданию ЕГС РАО принципиально создание централизованного финансового ресурса, а таким является специальный резервный фонд Госкорпорации «Росатом». К началу 2013 года были созданы все предпосылки для начала его функционирования. Этому способствовала, в первую очередь, правовая конструкция закона по РАО, которая позволяет аккумулировать средства крупных организаций в год образования РАО, а не в момент передачи РАО на захоронение.

Как уже неоднократно отмечалось, фаза развития характерна не только в отношении системы обращения с РАО, но и по другим составляющим завершающих стадий жизненного цикла. В соответствии с утвержденной стратегией усовершенствованная система управления дивизиона Ядерная и радиационная безопасность с выделением государственных функций и бизнес-деятельности (рис. 5.1.5). В рамках исполнения государственных функций предполагается исполнение основного объема функций органа государственного управления в области обращения с радиоактивными отходами, закрепленных за Госкорпорацией «Росатом».

Таким образом, к настоящему времени:

- Определены основные направления развития ЕГС РАО и запущены механизмы их детализированной проработки и формирования.
- Определены основные риски, последствиями которых могут стать как экономические потери, так и ущербы, связанные с обеспечением безопасности.
- Реализованы меры по созданию системы управления (рис. 5.1.5).

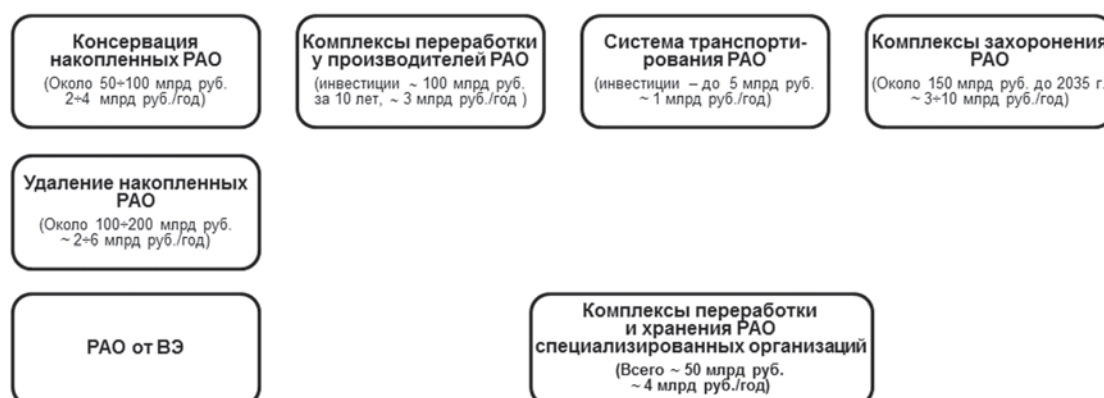


Рис. 5.1.4. Оценки затрат на создание (в периодах до 2025 года или до 2035 года) и эксплуатацию (в год) элементов ЕГС РАО



Рис. 5.1.5. Изменение системы управления в области обращения с РАО

При законодательно заданных целях и принципах функционирования ЕГС РАО в реализуемый переходный период необходимо определение новых тактических целей и формирование долгосрочной программы с механизмами ее последующей детализации и корректировки. В качестве таких целей должны рассматриваться:

- Реализация инвестиционной программы Национального оператора.
- Координация работ по созданию мощностей переработки РАО с одновременным снижением издержек, связанных с их созданием и эксплуатацией.
- Своевременное планирование развития транспортной и логистической структуры.
- Обеспечение рационального разделения накопленных РАО на удаляемые и особые.
- Обеспечение гибкости создаваемой системы и ее быстрой адаптации к изменениям во внешней среде и накоплению правоприменительного опыта.

Пути и способы достижения этих тактических целей будут более детально рассмотрены ниже. В рамках этого подраздела отметим, что успешное достижение целевого состояния — функционирования ЕГС РАО с захоронением всех образующихся РАО — может состояться только при применении современных методов планирования и управления с существенно более высокой долей использования проектных методов управления, чем это планировалось в период 2009–2010 годов.

## 5.2. Национальный оператор по обращению с РАО и его инвестиционная программа

Национальный оператор должен нести ответственность за обеспечение безопасного захоронения РАО, за безопасную эксплуатацию и закрытие пунктов захоронения РАО, а также за обеспечение ядерной, радиационной, технической, пожарной безопасности, охраны окружающей среды, соблюдение законодательства о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения и радиационный контроль при эксплуатации, закрытии и после закрытия пунктов захоронения РАО.

Национальный оператор как ключевая фигура создаваемой ЕГС РАО определяется решением Правительства Российской Федерации по предложению Госкорпорации «Росатом», являющейся органом управления в области обращения с РАО.



Как и в других случаях, по мере проработки вопроса о национальном операторе происходила эволюция идей. Как уже отмечалось, в период 2008–2011 годов ФГУП «РосРАО» рассматривался как единственный кандидат на роль национального оператора. Позже вопрос о национальном операторе стал рассматриваться комплексно. В круг рассмотрения стали входить вопросы наличия потенциала и различного рода обременений, возможность обособления финансовой деятельности по функционалу национального оператора, отношение к собственности, в том числе находящейся в собственности Российской Федерации и Госкорпорации «Росатом», то есть и по организационно-правовым формам.

Интересной представлялась модель консорциума, в который будут не только переданы необходимые активы по обращению с РАО, но и будут созданы инструменты для постоянного сотрудничества между производителями отходов и оператором по захоронению. Этот подход соответствует опыту Швеции, где компания-оператор SKB вообще была создана с нуля. Правда, не кем-то посторонним, а компаниями, эксплуатирующими АЭС. Это позволило контролировать работу оператора и оптимизировать тарифы с целью «уложиться» в те деньги, которые отчисляются на захоронение отходов. Конечно, производитель отходов – это не единственный контролер, есть и органы регулирования безопасности. Однако в любом случае это должно быть выверенное решение, задающее благоприятный режим взаимодействия между оператором и производителями отходов.

Отметим, что создание отдельной организации по захоронению прямо предусмотрено Объединенной конвенцией и рекомендациями МАГАТЭ, которые призывают к четкому разделению обязанностей и ответственности между организациями, в результате деятельности которых РАО образуются, органами регулирования безопасности и специально создаваемой организацией по управлению РАО. Цель этого разделения – исключение ситуаций, когда текущие потребности эксплуатирующих организаций ставили бы под сомнение безопасность захоронения.

Зарубежный опыт достаточно широк. Некоторые страны (Франция, Нидерланды, Испания, Швеция) создали систему управления РАО, в соответствии с которой их окончательным захоронением занимается один орган. Другие, например, Германия и Великобритания, предпочли распределить обязанности по обращению с РАО между различными организациями. Общий подход заключается в централизованной ответственности за окончательное захоронение РАО на национальном уровне.

Любой тип организации может расцениваться как подходящий для учреждения национального оператора. Ключевым моментом является то, что обязанности национального оператора и условия его функционирования в явном виде установлены законом, также как законом определены сферы ответственности производителей отходов и регулирующих органов.

Несколько примеров из зарубежной практики. Французская ANDRA является правительственным учреждением особого рода, ее деятельность финансируется производителями отходов, в основном Électricité de France, эксплуатирующей все АЭС Франции. Меньшие средства поступают от перерабатывающей компании Cogema и Комиссариата по атомной энергии (КАЭ). Помимо захоронения РАО ANDRA также занимается кондиционированием отходов, поступающих от мелких производителей, перед их захоронением в приповерхностном могильнике.

ENRESA (Испания) — это государственная компания, которая в настоящее время преобразуется в открытое акционерное общество. ENRESA имеет широкий круг обязанностей, включающий транспортировку отходов, их временное хранение и за-

хоронение, а также вывод из эксплуатации АЭС, бывших урановых рудников и объектов по переработке урановых руд. Она также занимается кондиционированием РАО, поступающих от мелких производителей отходов. Деятельность ENRESA финансируется из фонда, который первоначально пополнялся за счет платы за потребление электроэнергии, т. е. подобия налога на электроэнергию. В будущем этот фонд будет пополняться за счет платежей от организаций, эксплуатирующих АЭС. Затраты по кондиционированию и захоронению отходов от мелких производителей относятся на их счет, хотя допускается некоторое их покрытие за счет прибылей от другой деятельности ENRESA.

В конечном итоге в центре дискуссии оказались два вопроса. Во-первых, что лучше – стартовый потенциал (площадки, активы, персонал) или нацеленность на конечный функционал и отсутствие обременений в форме иных видов деятельности. Во-вторых, какова организационно-правовая форма лучше.

К концу 2011 года принципиальное решение по национальному оператору было принято органом государственного управления в области обращения с РАО, а распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 марта 2012 г. № 384-р он был определен:

*«Определить национальным оператором по обращению с радиоактивными отходами федеральное государственное унитарное предприятие «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» (г. Москва)».*

Это новая организация, нацеленная исключительно на исполнение функций национального оператора.

Положения 190-ФЗ позволяют достаточно четко представить будущий облик национального оператора. В целях обозначения разницы между представлениями о будущем национальном операторе и его состоянием на момент создания выделим описание будущего курсивом.

*Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами – крупная организация с относительно небольшим количеством обособленных подразделений, которые сами осуществляют прием РАО и эксплуатацию пунктов захоронения либо контролируют деятельность специализированных организаций, осуществляющих их эксплуатацию.*

*Национальный оператор выполняет функции заказчика проектирования, сооружения и закрытия пунктов захоронения РАО, то есть у него функционирует аналитическая служба, которая, как минимум, может организовать выработку технических требований, размещение и приемку заказов на проектирование ПЗРО и иных объектов инфраструктуры, и их строительство, включая вопросы обоснования безопасности ПЗРО.*

*У национального оператора функционирует мощное информационно-аналитическое подразделение, которое обеспечивает техническое и информационное обеспечение государственного учета и контроля радиоактивных веществ и РАО, включая реестр РАО и кадастр пунктов хранения РАО, приема РАО на захоронение, сопровождения программ обеспечения качества.*

*Национальный оператор готовит прогнозы объема захоронения радиоактивных отходов, развития инфраструктуры по обращению с РАО и размещает соответствующую информацию на сайте национального оператора и сайте органа государственного управления в области обращения с РАО.*

*У национального оператора функционируют лаборатории радиационного и экологического мониторинга, сертифицированные на международном уровне, которые обеспечивают радиационный контроль на территориях размещения пунктов захоронения радиоактивных отходов, в том числе периодический радиационный контроль после закрытия таких пунктов.*

*В связи со сложностями вопросов размещения ПЗРО, прогнозирования захоронения РАО, обоснования безопасности и общественной приемлемости деятельности по захоронению при национальном операторе функционирует научно-технический и общественный советы. В них входят известные специалисты, ученые и общественные деятели, в том числе и из-за рубежа. Локальные общественные советы функционируют по каждому пункту захоронения.*

*Финансирование деятельности национального оператора осуществляется за счет трех источников:*

- перечисления из специального резервного фонда Госкорпорации «Росатом» на создание пунктов захоронения (инвестиционная программа национального оператора) и покрытие расходов по захоронению РАО, поступающих от эксплуатирующих организаций, осуществляющих отчисления в этот фонд;*
- платы за захоронение РАО, поступающих от иных организаций, в том числе ведущих работы по удалению ранее накопленных РАО и выводу из эксплуатации (большая часть этих средств, связанная с расходами будущих периодов, возвращается в специальный резервный фонд Госкорпорации «Росатом»);*
- средств федерального бюджета: на финансирование мероприятий инвестиционной программы, связанной с созданием мощностей для захоронения ранее накопленных РАО, на захоронение РАО, поступающих от бюджетных организаций, на выполнение функций по ведению системы СГУК РВ и РАО.*

Еще раз отметим, что это будущее состояние предстоит достичь в течение 5–10 лет, а по состоянию на 2012 год активы ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами» ограничивались зарегистрированным уставом и решением Правительства Российской Федерации. Приоритетными направлениями деятельности Национального оператора (далее – НО РАО) в этих условиях стали:

- разработка проектов нормативно-правовых актов, регламентирующих значимые для его деятельности процессы;
- разработка документов и программ, обеспечивающих возможность финансирования инвестиционных проектов, связанных с созданием пунктов захоронения;
- развитие системы СГУК РВ и РАО, включая создание реестра РАО и кадастра пунктов хранения;
- подготовка документов, обеспечивающих возможность его функционирования как эксплуатирующей организации и организация передачи действующих полигонов захоронения ЖРО от эксплуатировавших ранее организаций национальному оператору.

В настоящее время работы по этим направлениям успешно реализуются. По мере выхода нормативно-правовых актов конкретизируется и функционал ФГУП «НО РАО». Например, постановлением Правительства России от 10 сентября 2012 г. № 899 утверждено «Положение о передаче радиоактивных отходов на захоронение, в том числе радиоактивных отходов, образовавшихся при осуществлении деятельности, связанной с разработкой, изготовлением, испытанием, эксплуатацией и утилизацией ядерного оружия и ядерных энергетических установок военного назначения». Оно определяет, в том числе и некоторые новые условия передачи, среди которых действия при обнаружении несоответствия результатов проверки данным паспорта упаковки (партии). В этом случае отходы на захоронение не принимаются, а упаковка подлежит возврату в организацию, от которой были приняты РАО, или по соглаше-

нию сторон национальным оператором проводится дополнительная подготовка упаковки к захоронению. Таким образом, у ФГУП «НО РАО» появляется возможность развивать сферу услуг по доведению РАО до критериев приемлемости. Это в целом соответствует зарубежной практике. И французская ANDRA, и испанская ENRESA также осуществляют эти виды деятельности.

В этом же постановлении вновь фиксируется ситуация по захоронению РАО, образующихся у организаций, деятельность которых связана с добычей и переработкой урановых руд, и очень низкоактивных РАО, и входящих в перечень эксплуатируемых особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты. По решению Правительства Российской Федерации захоронение указанных РАО может осуществляться в пунктах захоронения РАО на используемых такими организациями земельных участках. Это положение, по сути, выводит из перечня приоритетных направлений деятельности ФГУП «НО РАО» работы по захоронению РАО от добычи и переработке урановых руд. Задачи по созданию пунктов захоронения очень низкоактивных РАО остаются, поскольку они образуются в гораздо более широком круге организаций.

Создание пунктов захоронения является критически важной составляющей ЕГС РАО. Источником финансирования реализации инвестиционной программы НО РАО должен стать специальный резервный фонд Госкорпорации «Росатом». Для его формирования необходимы две составляющие: прогноз образования РАО для организаций, эксплуатирующих ядерно и радиационно опасные объекты, и тарифы.

При этом порядок государственного регулирования тарифов на захоронение РАО, в том числе основы ценообразования и правила государственного регулирования, должно было определить правительство России. Таким образом, разработка предложений по порядку государственного регулирования тарифов на захоронение РАО стала главной задачей ФГУП «НО РАО». К концу 2012 года эта задача была успешно решена — постановлением Правительства Российской Федерации от 3 декабря 2012 года этот порядок был определен. Соответствующим положением были зафиксированы ключевые понятия, в том числе:

- «долгосрочные параметры регулирования» — параметры расчета тарифов, которые используются при применении метода установления тарифов с учетом долгосрочных периодов (временных интервалов) регулирования;
- «производственная программа национального оператора» — комплекс мероприятий, направленных на управление деятельностью национального оператора по обращению с РАО, включая эксплуатацию пунктов захоронения РАО, выполнение работ по размещению кондиционированных форм РАО, обеспечение функционирования и безопасности пунктов захоронения, хранение РАО перед помещением в пункт захоронения, закрытие пунктов захоронения и иные работы, выполняемые после закрытия пунктов захоронения в целях обеспечения безопасности;
- «инвестиционная программа национального оператора» — необходимый комплекс мероприятий по возведению пунктов захоронения радиоактивных отходов, в том числе подготовительные и предпроектные работы, приобретение земельных участков и объектов незавершенного строительства, проектирование, лицензирование, строительно-монтажные работы, приобретение оборудования и другие работы;
- «расчетный период регулирования» — период, на который рассчитываются тарифы;



- «первый период регулирования» — первоначальное установление тарифов со дня вступления в силу постановления Правительства Российской Федерации от 3 декабря 2012 г. № 1249.

Ключевыми нормами этого положения, важными для понимания природы тарифа, являются следующие:

- Тарифы устанавливаются в виде фиксированных ставок тарифов в расчете на 1 куб. м захораниваемых РАО, включая упаковку и контейнер (объем брутто). Единицей измерения тарифа для захоронения РАО является руб./куб. м.
- Тарифы устанавливаются для каждого класса РАО, определяемого в соответствии с критериями классификации удаляемых радиоактивных отходов, устанавливаемыми Правительством Российской Федерации. Для каждого класса радиоактивных отходов устанавливается единый тариф.

При установлении тарифов применяются два метода государственного регулирования ценообразования с учетом долгосрочных и краткосрочных параметров регулирования.

Метод установления тарифов с учетом долгосрочных параметров регулирования — основной. Он предусматривает включение в состав тарифа расходов на проведение работ, включенных в инвестиционную программу национального оператора. Указанным методом предусматривается возможность привлечения средств государственной поддержки и частных инвестиций к реализации инвестиционной программы. Продолжительность долгосрочного расчетного периода регулирования определяется исходя из периода реализации инвестиционной программы и периода возврата инвестированного капитала с учетом прогнозных сроков эксплуатации пунктов захоронения.

Метод установления тарифов с учетом краткосрочных параметров регулирования тарифов позволяет учесть потребности в минимально необходимой валовой выручке национального оператора для покрытия расходов на захоронение РАО и соответствующих услуг на краткосрочный период. Он является инструментом для регулирования тарифа по захоронению ЖРО и своего рода страховкой на будущее в случае сбоя долгосрочных параметров регулирования.

Положение исчерпывающим образом определило состав расходов, связанных с захоронением РАО, в том числе по основным направлениям:

- расходы на реализацию производственной программы национального оператора;
- расходы на реализацию инвестиционной программы национального оператора;
- расходы на возмещение стоимости имущества пунктов хранения и пунктов захоронения, отчуждаемых в собственность органа управления.

Положение определило также, что производственная и инвестиционная программы национального оператора формируются им на основании утвержденного органом управления (Госкорпорация «Росатом») прогнозируемого объема образования радиоактивных отходов для организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты, с учетом фактического объема образования радиоактивных отходов и объема радиоактивных отходов, переданных на захоронение в предшествующие годы. Сформированные производственная и инвестиционная программы национального оператора утверждаются органом управления по согласованию с регулирующим органом.

Положением предусмотрена длительность периода установления тарифов, возможность и условия их корректировки. Принципиально важно, что положением пре-

дусмотрены элементы гибкости — регулирующей орган вправе дифференцировать тарифы, устанавливаемые для каждого класса РАО, в зависимости от объемов РАО, передаваемых на захоронение, их характеристик и видов деятельности, в результате осуществления которых они образуются.

Исчерпывающим образом была определена и система государственного контроля по вопросам, связанным с установлением и применением тарифов, и перечень материалов, необходимых для установления тарифов: заявление органа управления в области обращения с радиоактивными отходами (Госкорпорации «Росатом») об установлении тарифов и комплект документов ФГУП «НО РАО», включая проект заявления об установлении тарифов; прогнозные объемы захоронения радиоактивных отходов соответствующих классов в течение расчетных периодов регулирования; бухгалтерская и статистическая отчетность национального оператора за предыдущий финансовый год; аудиторское заключение за предыдущий финансовый год; расчет предстоящих в расчетном периоде регулирования доходов и расходов; производственные программы национального оператора на расчетные периоды регулирования, обосновывающие размер устанавливаемых тарифов, с приложением смет по каждой группе расходов; инвестиционные программы национального оператора по возводимым пунктам захоронения РАО с приложением смет по каждой группе расходов.

Решение об установлении тарифов должно быть принято регулирующим органом не позднее 30 дней с даты получения соответствующего заявления.

Одновременно с участием в разработке порядка государственного регулирования тарифов специалисты ФГУП «НО РАО» формировали инвестиционную и производственную программы, а также, совместно со специалистами Госкорпорации «Росатом» участвовали в разработке прогноза образования РАО, для организаций, эксплуатирующих ядерно и радиационно опасные объекты.

Инвестиционная программа формировалась исходя из продолжительности долгосрочного периода по 2035 год включительно. Основные предположения и допущения, принятые при ее разработке:

- в течение этого периода должен быть сформирован имущественный комплекс, обеспечивающий захоронение всех классов РАО, в том числе построены пункты захоронения федерального и межрегионального значения (или их первые очереди), включая приповерхностные и подземные пункты захоронения, а также пункт захоронения глубинного типа;
- в течение этого периода должно быть обеспечено захоронение всех вновь образующихся и РАО и начато захоронение накопленных РАО.

Параллельная проработка проектов документов и их утверждение позволили уже в начале 2013 года сформировать необходимый комплект документов, включая инвестиционную и производственную программы ФГУП «Национальный оператор по обращению с РАО», получить одобрение органа управления (Госкорпорация «Росатом») и представить его в МПР России, определенный регулирующим органом.

В целом менее чем за год с момента определения Правительством Российской Федерации национального оператора по обращению с радиоактивными отходами была в основном создана система нормативно-правовых актов (решения Правительства Российской Федерации, приказы Госкорпорации «Росатом» и Минприроды России), определяющих финансовую основу деятельности национального оператора. Это позволит уже в 2013 году запустить процесс финансирования инвестиционной программы ФГУП «НО РАО» с выходом на объемы порядка 3 и более млрд рублей в год

(рис. 5.2.1). Этого вполне достаточно для реализации проектов по обоснованию решений по размещению объектов захоронения и их последующему сооружению.

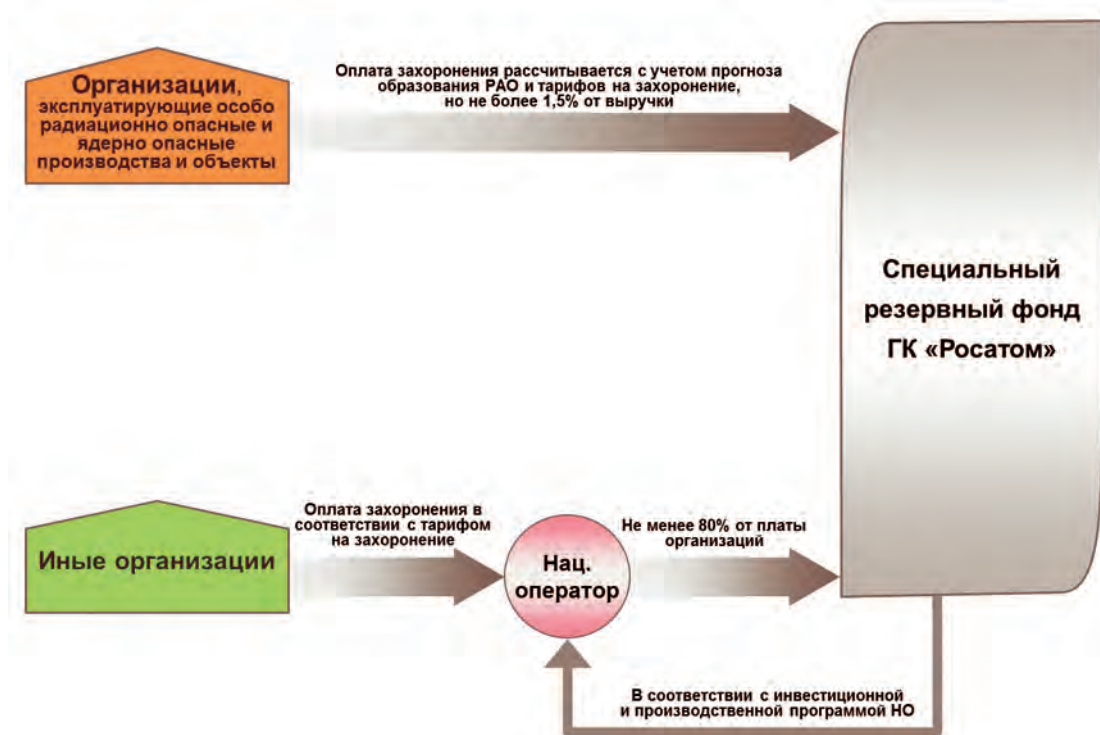


Рис. 5.2.1. Формирование специального резервного фонда Госкорпорации «Росатом»

Не менее успешно реализуется развитие ФГУП «НО РАО» по другим направлениям деятельности. Уже в апреле 2013 года в рамках VIII Международного общественного форума-диалога (Москва, 11–12 апреля 2013 г.) представителями ФГУП «НО РАО» было сделано четыре доклада по основным направлениям деятельности:

- долгосрочное планирование и развитие инфраструктуры окончательной изоляции РАО в России;
- ход реализации 190-ФЗ, план-график реализации;
- программа первичной регистрации РАО, пунктов хранения и мест размещения РАО в России;
- проект создания подземной лаборатории ВАО в Красноярском крае (Нижне-Канский массив).

Обсуждение этих докладов показало высокий уровень выполненных специалистами ФГУП «НО РАО» разработок. Одновременно оно показало, что достижение общественного согласия по вопросам размещения пунктов захоронения РАО станет наиболее сложной задачей национального оператора и органа государственного управления ЕГС РАО на ближайшие годы.

### 5.3. Координация работ по созданию мощностей переработки РАО

Процесс проектирования трансформации систем обращения с РАО в организациях атомной отрасли также стартовал. Сроки завершения разработки локальных стратегий по обращению с РАО определены приказом по госкорпорации (2013 год).

В настоящее время решается задача согласования планов и намерений отдельных организаций с целью минимизации затрат. Утверждение локальных стратегий и последующая проектная работа позволят детализировать перечень мероприятий, сроки их реализации и объем требуемых финансовых ресурсов.

С учетом непростых стартовых условий (переработка менее 30% от подлежащих переработке РАО), идущие процессы позволяют прогнозировать следующее развитие событий. После завершения процесса проектирования и оптимизации, а он может занять несколько лет, доля переработки РАО будет быстро возрастать, а качество переработки будет повышаться и достигнет уровня кондиционирования, то есть приведения РАО в состояние, полностью соответствующее критериям приемлемости.

В этом процессе важны три составляющих, которые целесообразно рассмотреть более детально:

- наличие адекватных критериев приемлемости;
- оптимизация затрат при создании комплексов переработки РАО;
- своевременное планирование и координация создания недостающих компонентов системы.

### ***Критерии приемлемости***

Основное требование ЕГС РАО — приведение РАО в соответствие с критериями приемлемости. Производители РАО и другие участники ЕГС РАО должны своевременно получить практические ориентиры для перехода на новые технологии (переработка и кондиционирование), нацеленные не на размещение РАО в собственных хранилищах, а на приведение РАО в состояние, пригодное для их захоронения. Одновременно эти обобщенные (базовые) критерии приемлемости необходимы для того, чтобы ведущаяся деятельность по переработке и кондиционированию РАО не требовала последующих переделов. Вопреки широко распространенному мнению о том, что такие критерии должны быть заново сформулированы, можно утверждать, что уже сегодня уже есть основа, на которую можно ориентироваться. Термин «критерии приемлемости РАО для их захоронения» используется в федеральных нормах и правилах [4, 5]. Кроме того, разработано руководство по безопасности [7].

В [4] критерии приемлемости РАО для захоронения определяются как «характеристики РАО, которым они должны отвечать после сбора, переработки, хранения и кондиционирования». В 190-ФЗ понятие «характеристики РАО» уточняется как «требования к физико-химическим свойствам радиоактивных отходов и упаковкам радиоактивных отходов». Другой аспект, на который следует обратить внимание в определении, — это акцент на том, что требования устанавливаются в целях захоронения, ведь для целей закона это является наиболее важным.

В определении указываются цели установления критериев приемлемости, но не указано, кем они устанавливаются. В соответствии с мировой практикой критерии приемлемости РАО для захоронения, как правило, устанавливаются оператором пункта захоронения (в российской терминологии — это ФГУП «НО РАО») и одобряются регулирующим органом. Аналогичный порядок предусмотрен и нормативной правовой базой России. Так, в соответствии с [4], критерии приемлемости РАО для захоронения устанавливаются в проекте пункта захоронения. Однако законом прямо предусмотрено принятие ФНП по критериям приемлемости РАО для захоронения, разработка которых ведется. Предполагается, что данный документ будет содержать не только порядок установления критериев приемлемости, но и, по возможности, уста-



новит рамочные значения количественных характеристик критериев приемлемости, обязательные для ФГУП «НО РАО» в качестве ориентира при проектировании пунктов захоронения РАО, и для организаций, осуществляющих кондиционирование РАО.

В настоящее время существует несколько документов органа регулирования, которые непосредственно относятся к критериям приемлемости. В [6] определены требования к качеству отвержденных ЖРО – цементного и битумного компаундов и стеклоподобного материала и определены рекомендуемые сферы применимости характеристик РАО (табл. 5.3.1).

Таблица 5.3.1

**Рекомендуемая сфера применимости характеристик РАО для установления критериев приемлемости кондиционированных РАО для их захоронения**

№ п/п	Критерий приемлемости кондиционированных РАО	Этап размещения РАО (эксплуатация хранилища)	Этап после вывода из эксплуатации и закрытия хранилища РАО (послеэксплуатационный этап)					
			Приповерхностное захоронение		Подземное захоронение			
			Низко-активные РАО	Средне-активные РАО	Низко-активные РАО	Средне-активные РАО	Высоко-активные РАО	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1.	Суммарная активность упаковки РАО, удельная активность РАО и радионуклидный состав РАО	+	+	+	+	+	+	+
2.	Мощность эквивалентной дозы	+	–	–	–	–	–	–
3.	Поверхностное загрязнение	+	–	–	–	–	–	–
4.	Структурная стабильность формы РАО	+	(+)	+	(+)	+	+	+
5.	Водоустойчивость формы отвержденных РАО	(+)	+	+	+	+	+	+
6.	Содержание коррозионно-активных веществ	+	+	+	(+)	+	+	+
7.	Тепловыделение	(+)	–	+	–	+	+	+
8.	Термическая устойчивость	+	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	+
9.	Радиационная стойкость	–	+	+	–	–	–	+
10.	Газообразование	+	(+)	(+)	+	+	+	+
11.	Биологическая устойчивость	(+)	(+)	(+)	(+)	+	+	+

Таблица 5.3.1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8
12.	Содержание свободной влаги в упаковке РАО	(+)	+	+	(+)	(+)	+
13.	Содержание веществ, образующих комплексные соединения	(+)	+	+	+	+	+
14.	Содержание взрывоопасных и самовозгорающихся веществ	+	+	+	+	+	+
15.	Содержание веществ, реагирующих с водой с выделением тепла и образованием горючих газов	+	+	+	+	+	+
16.	Содержание ядовитых веществ, химически токсичных веществ, патогенных и инфекционных материалов	+	+	+	(+)	(+)	+
17.	Содержание ядерных материалов	+	–	(+)	–	(+)	+
18.	Конфигурация упаковки РАО	+	–	–	–	–	+
19.	Идентификация упаковки РАО	+	(+)	(+)	(+)	(+)	+
<p>Знак «+» — применим; знак «(+）」 — применим ограниченно, объем применимости определяется при проектировании хранилища РАО; знак «–» — не применим.</p>							

В документе [7] сформулированы основные характеристики РАО, которые следует учитывать при установлении критериев приемлемости кондиционированных РАО для их хранения и захоронения, которые в целом соответствуют показателям табл. 5.3.1. Реализованный в [7] подход в целом соответствует мировой практике, когда количественные критерии приемки отходов могут быть получены исходя из характеристик пункта захоронения для четырех классов радиоактивных отходов, определенных в классификации МАГАТЭ. Эти критерии приема на захоронение должны включать критерии приемки для транспортировки (если она необходима) и промежуточного хранения отходов до захоронения.

Таким образом, уже в настоящее время набор требований по критериям приемлемости можно считать вполне определенным и включающим в себя:

**Общие требования** (геометрия и размеры контейнеров для отходов, вес, маркировка, механическая прочность).

**Радиологические требования** (содержание радионуклидов, значимых для оценки безопасности пункта захоронения, *мощность дозы и радиационное воздействие* на матрицу отходов или барьеры, *однородность*).

**Химические требования** (*состав и структура, однородность, наличие свободной жидкости, коррозия, газообразование, воспламеняемость, взрывобезопасность, химическая активность, выщелачиваемость*).

Тем не менее, и разработка новых ФНП по критериям приемлемости, и разработка на их основе критериев приемлемости для каждого пункта захоронения чрезвычайно важны, поскольку именно они должны определить важные детали, касающиеся, например, весогабаритных и других характеристик РАО. Ожидается, что общие критерии приемлемости будут разработаны и приняты в период до 2014 года.

В целом ситуация по критериям приемлемости может быть охарактеризована следующим образом:

В промышленности уже достаточно длительное количество лет и в значимом масштабе производится полный цикл переработки РАО, включающий упаковку отходов в невозвратные контейнеры, например типа НЗК или ряд других [8].

В скором будущем будут приняты новые «общие» критерии приемлемости, а затем они появятся и для каждого проектируемого и создаваемого пункта захоронения РАО.

Было бы крайне рационально, если бы новые критерии не превосходили по жесткости регламентации все используемые в настоящее время ограничения и не добавляли новых ограничивающих параметров. Если это произойдет, то возникнет два варианта действий в отношении ранее накопленных и упакованных РАО и РАО, упакованных по используемым в настоящее время технологиям. Первый вариант – это переупаковка. Достаточно очевидно, что это дорогой вариант и масштабы его применения должны и могут быть очень ограничены. Второй вариант предполагает специальное проектирование пункта захоронения (или одной из его очередей), который позволил бы принять основной объем накопленных и упакованных РАО.

Однако есть и другие риски, связанные с тем, что для сегодняшней практики кондиционирования РАО характерны многие элементы избыточности, они обусловлены, главным образом, нерациональным определением радиологических требований, в том числе требований к биологической защите и игнорированием ограниченности периода потенциальной опасности РАО. Рассмотрим это на конкретном примере. В фундаментальной работе по контейнерам, вышедшей в 2012 году [8], приведены оценки биологической защиты контейнера, мощностей доз от упаковок с ионообменными смолами в разных состояниях (табл. 5.3.2). С технической стороны они выполне-

Таблица 5.3.2

**Мощность дозы от упаковки с ионообменной смолой КУ-2-8, мкЗв/ч, [8, табл. 4.8]**

Место расположения расчетной точки	Вариант				
	1	2	3	4	5
На поверхности	0,37	3,7	37	370	3700
На расстоянии 0,3 м от поверхности	0,24	2,4	24	240	2400
На расстоянии 0,5 м от поверхности	0,18	1,8	18	180	1800
На расстоянии 1 м от поверхности	0,084	0,84	8,4	84	840

ны почти безупречно — используется современная программа, учитываются все процессы переноса излучения и т.д. Однако, все последующие суждения не учитывают ни экономической целесообразности применения столь мощной биологической защиты, ни периода потенциальной опасности, в том числе при определении ряда технических характеристик.

При определении допустимого времени обращения персонала с упаковками неоднократно применяются многочисленные коэффициенты запаса, в том числе с некоторым обоснованием на нормативные документы и руководства. Общий вывод, к которому приходят авторы — упаковки, содержащие отходы с активностью по вариантам 1–4, удовлетворяют требованиям радиационной безопасности транспортных норм НП-053-04, персонал может обращаться с упаковками с отходами по варианту 1 и 2 — без ограничений, а по варианту 3 и 5 за счет ограничения времени и дополнительной защиты и варианту 5 — дистанционно. При этом за рамками анализа остается вопрос о том, зачем РАО с буквально пограничными значениями активности (вариант 1 — это уровни активности в десятки Бк/г) необходимо помещать в упаковки с такими высокими характеристиками биологической защиты, почему необходимо сводить всю систему радиационной защиты к биологической защите контейнера и многие другие. Зачем применять такой высокий уровень защиты по другим показателям при периоде потенциальной опасности менее 50 лет? У рассматриваемого контейнера действительно рекордные характеристики, включая прочность на сжатие, осевое растяжение и растяжение, морозоустойчивость, водопроницаемость и т.д. Наверное, в прошлом, в условиях высокой неопределенности будущего упаковок можно было признать целесообразным использование таких упаковок для отдельных видов РАО средней активности. Такие решения были, в том числе секции № 4 «Безопасность объектов использования атомной энергии» Научно-технического совета Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзора) и ОАО «Концерн «Росэнергоатом» в рамках концепции контейнерного хранения кондиционированных отходов, и эти решения реализовывались. По состоянию на начало 2012 года предприятиям отрасли было поставлено почти 4 тыс. таких контейнеров [8]. Очевидно, что лишь часть из них использовалась для размещения отходов низкой активности. Но такие технологические цепочки работали и продолжают работать. Применение данной упаковки для отходов низкой активности приводит к существенному увеличению объема РАО, подлежащих захоронению, по отношению к их первоначальному объему, и соответствующему росту затрат на оплату транспортирования и захоронения. Нельзя не упомянуть и стоимость упаковки, которая превышает 50 тыс. рублей. В целом размещение РАО с периодом потенциальной опасности менее 50 лет в упаковки с защитными барьерами, которые в совокупности с барьерами пункта захоронения НАО будут обеспечивать изоляцию отходов на протяжении 500–1000 лет, не представляется оправданным.

В целом игнорирование ограниченности периода потенциальной было настолько хроническим, что даже в уже упомянутой работе [8], являющейся очень солидной работой ведущих специалистов, о нем забыли. Например, при оценке энерговыделения в период полураспада не только в расчете годовых значений, но и на 300-летний период (табл. 4.11 и 4.12) радиоактивный распад не учтен. А это надо делать, поскольку радионуклидный состав отходов — цезий-137, цезий-134, кобальт-60. Для результатов на год этот эффект незначителен, но на 300-летнем периоде он уже иной. Полученные авторами значения превышают реальные в 8,5 раз.



*Оптимизация затрат при создании комплексов переработки РАО*

Одной из задач, которая решалась при разработке локальных стратегий, являлась комплексная инвентаризация существующих технологий и установок для переработки и кондиционирования РАО, а также упаковок ранее кондиционированных РАО. В ходе решения этой задачи предполагалось:

- выявить и сохранить те технологии, которые могут применяться и в дальнейшем, и остановить работы по переработке и кондиционированию РАО, осуществляемые с использованием неэффективных технологий;
- определить имеющийся потенциал организаций для оказания в рамках ЕГС РАО услуг в части переработки РАО;
- определить недостающие элементы инфраструктуры в рамках организаций (дивизионов) и ЕГС в целом для планирования создания недостающих элементов инфраструктуры.

Как показал анализ проектов локальных стратегий обращения с РАО, подготовленных основными организациями – производителями РАО к началу 2013 года, большинство организаций при планировании переработки РАО ориентируется, в основном, на собственную инфраструктуру (имеющуюся или планируемую к созданию) при минимальном уровне использования возможностей кооперации.

Вместе с тем, как уже было отмечено выше, в рамках одной организации трудно добиться технологической и экономической эффективности использования установок по переработке и кондиционированию РАО. Это обусловлено, в первую очередь, различными потоками и видами РАО и тем диапазоном мощностей, который имеют установки по переработке. Даже в том случае, если установки по переработке РАО будут ориентированы в рамках одной организации на обращение не только с операционными, но и накопленными РАО, а также с РАО от вывода из эксплуатации, интегрально оптимизация затрат не будет достигаться, поскольку для небольших производителей РАО создание полного комплекса переработки будет экономически неприемлемо. Задачу самообеспечения установками по переработке затруднительно решить и на уровне какого-либо дивизиона Госкорпорации «Росатом» из-за невозможности реализовать экономическую эффективность этой деятельности при транспортировке РАО на большие расстояния. Кроме того, резкое возрастание объемов перевозок может быть осложнено и вопросами общественной приемлемости этой деятельности.

Таким образом, проекты локальных стратегий выявили планы решения задач на уровне организаций, далее должен следовать укрупненный анализ деятельности на общекорпоративном уровне и в разрезе географии предприятий и деятельности дивизионов. При этом в целях выявления потребностей в мощностях определенного типа требуется не только сопоставлять существующие объемы образования РАО и объемы их переработки, но учитывать и технологии переработки (прессование, сжигание и др.).

Представляется, что формирование инфраструктуры для переработки и кондиционирования РАО целесообразно вести по региональному принципу с учетом потребностей в этой деятельности. В табл. 5.3.3 показано распределение предприятий отрасли в федеральных округах по дивизионам, а также обозначены предприятия, на которых образуются существенные объемы РАО для переработки. По накопленным удаляемым РАО картина прояснилась еще не полностью, однако она будет в целом воспроизводить имеющуюся структуру образования операционных РАО. Как представляется, предприятия, имеющие существенные объемы РАО, могут стать точками роста мощностей по переработке с оказанием услуг в рамках ЕГС РАО для других

Таблица 5.3.3

Предприятия атомной отрасли в федеральных округах

	ЦФО	СЗФО	ЮФО, СКФО	ПФО	УФО	СФО	ДФФО
ЯОК	ВНИИА, НИИП, НИКИЭТ, СТАРТ, ЭХП	Атомф- лот, НИТИ		НИИИС, ВНИИ- ЭФ	ВНИ- ИФТ, Маяк*, ПСЗ, УЭМЗ	ПО СЕВЕР	
ЯЭК- РЭА	КалАЭС*, КурАЭС, НВАЭС*, СмАЭС*	КолА- ЭС*, ЛАЭС*	РосАЭС*	БалАЭС*	БелАЭС		БилАЭС*
ЯЭК- ТВЭЛ	ВНИИНМ, МСЗ	Центро- тех-СПб		ЧМЗ*, ОКБ – Нижний Новгород	УЭХК*	АЭХК*, НЗХК*, СХК*, ЭХК*	
ЯЭК др.	Гидропресс			ОКМБ		ППГХО	
ЯРБ	РосРАО	РосРАО, НПО РИ	РосРАО	РосРАО	РосРАО	РосРАО ГХК*	РосРАО
НТК	НИИТФА, ФЭИ, НИФТИ, НПО Луч, ТРИНИТИ, ВНИИХТ	НТЦ ЯФИ		НИИАР*			
Др. ГК Росатом	ВО Изотоп, Никимт- Атомстрой						
НХ	РНЦ КИ, МИФИ	ПИЯФ, СРЗ*, Экомет					СРЗ

\* — объемы образования РАО, значимые для переработки.

организаций своего региона либо сопредельных. Очевидны также и перспективы ФГУП «РосРАО», имеющего свои площадки во всех федеральных округах.

Программа работ по созданию комплексов переработки РАО и оптимизации затрат на этот вид деятельности должна включать в себя:

- создание корпоративных центров оказания услуг на базе крупных предприятий, для которых планируется выделение средств федерального бюджета в значительных объемах для решения проблем, связанных с накопленными РАО;
- директивное определение планов для создаваемых корпоративных центров по оказанию услуг ЕГС РАО в части переработки РАО с указанием вида услуг и возможных годовых объемов;

- создание объектов инфраструктуры других эксплуатирующих организаций в соответствии с локальными стратегиями;
- создание сети сервисных и клининговых центров на базе ФГУП «РосРАО» (для оказания услуг значительному числу организаций, использующих ЗРИ или имеющих незначительные объемы образования РАО).

Предполагается, что детальная программа будет разработана в 2014 году. В настоящее время определены основные контуры технической политики. В ее основе: повышение эффективности использования действующих установок и создание центров переработки коллективного пользования, в том числе за счет создания установок для целей ЕГС РАО, финансируемых из бюджетных или общекорпоративных источников. Это позволит избежать как чрезмерной финансовой нагрузки на отдельные предприятия, так и излишних затрат на создание избыточных мощностей переработки и создания большого количества малых установок с низкими показателями экономической эффективности. Одновременно за счет высокой региональной самообеспеченности установками по переработке РАО будут минимизированы перевозки РАО на большие расстояния.

#### *Планирование и координация создания недостающих компонентов системы*

Расширение деятельности по переработке и кондиционированию РАО, а также обеспечение захоронения РАО требуют своевременного планирования развития транспортной и логистической структуры. Логистическую структуру, как подчеркивалось выше, целесообразно формировать по региональному принципу, в том числе для оптимизации перевозок РАО на различных этапах обращения с ними.

Анализ локальных стратегий также показал, что типоряд упаковок (контейнеров) для размещения в них РАО, как использовавшихся ранее, так и планируемых к применению в будущем, весьма обширен и далеко не всегда оптимален. В этой ситуации одной из задач обоснованно видится оптимизация парка упаковок (контейнеров) как один из действенных механизмов снижения финансовых затрат организаций на подготовку РАО к захоронению.

Отдельным вопросом следует выделить создание транспортного парка, достаточного для перевозки РАО к местам переработки и кондиционирования, а также кондиционированных РАО к местам их захоронения.

Многообразие имеющихся на внешнем рынке решений по транспортированию и наличие большого количества примеров, когда российская промышленность быстро развертывала выпуск необходимых машин и оборудования позволяют прогнозировать решающую роль рынка в этом направлении. Единственно, что требуется сделать в решении данного вопроса — это определить перспективные потребности. Естественно, что совершенно оправданна и постановка задачи о создании собственного бизнес-направления в рамках деятельности Госкорпорации «Росатом».

#### **5.4. Первичная регистрация и рациональное разделение накопленных РАО на удаляемые и особые**

Целями предусмотренной законом первичной регистрации РАО и установления мест их размещения являются выявление наличия и объема РАО, установление условий их размещения в отношении каждого пункта хранения РАО и иных мест размещения.

Проведение первичной регистрации важно по ряду причин. Во-первых, организация дальнейшей практической деятельности в области обращения с накопленными РАО будет осуществляться с учетом новых понятий, относящихся к видам РАО (удаляемые и особые РАО) и видам пунктов хранения РАО (пункт временного хранения, пункт долговременного хранения, пункт размещения и пункт консервации особых РАО), которые установлены законом. Напомним, что вид РАО и вид пункта хранения РАО являются определяющими для проведения тех или иных мероприятий по обращению с РАО. Во-вторых, первичная регистрация обеспечит получение необходимых сведений для последующего ведения реестра РАО и кадастра пунктов хранения РАО. В-третьих, первичная регистрация имеет ряд юридических последствий, таких как закрепление за имеющимися на дату принятия 190-ФЗ РАО статуса накопленных и находящихся в федеральной собственности РАО, а также закрепление статуса пунктов хранения и вида РАО.

Что касается статуса пунктов хранения, то это является важным с точки зрения прав собственности на них. Напомним, что законом ограничивается круг возможных собственников пунктов захоронения (Российская Федерация и Госкорпорация «Росатом»). В связи с этим ст. 40 предусматривается отчуждение пунктов захоронения, находящихся в собственности юридических лиц, в федеральную собственность или в собственность Госкорпорации «Росатом». Другими словами, если при проведении первичной регистрации установлено, что тот или иной пункт хранения является пунктом захоронения, то в силу положений ст. 40 закона данный пункт захоронения должен быть отчужден указанным выше субъектам.

Что касается прав собственности на РАО, то в соответствии со статьей 9 закона отнесение РАО к накопленным означает закрепление права собственности на эти РАО за Российской Федерацией.

Определение порядка и сроков проведения первичной регистрации РАО, образовавшихся до дня вступления в силу федерального закона, установление мест их размещения и утверждение формы акта первичной регистрации таких радиоактивных отходов осуществляются Правительством России. В июле 2012 года принято постановление Правительства Российской Федерации от 25 июля 2012 года № 767 «О проведении первичной регистрации радиоактивных отходов». Постановлением утверждены Правила проведения первичной регистрации радиоактивных отходов. Ответственность за проведение первичной регистрации радиоактивных отходов возложена на орган управления в области обращения с РАО — Госкорпорацию «Росатом». Первичную регистрацию планируется провести в 2013–2014 годах. В период осени 2012 и начала 2013 года Госкорпорацией «Росатом» были изданы необходимые распорядительные документы, которые дали практический старт первичной регистрации. В конце 2012 года также было принято 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», которое определило, что решение об отнесении объекта к определенной категории объекта принимается уполномоченным лицом организации. В качестве основы такого решения ядерной установки и радиационного источника определены сведения, содержащиеся в паспорте на объект, а для объектов, отнесенных к категории «пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, пункты хранения, хранилища радиоактивных отходов», — сведениями, содержащимися в проектной, конструкторской, технологической и эксплуатационной документации. В этом же положении указано, что отнесение пункта хранения РАО к пункту



захоронения РАО, пункту долговременного хранения РАО, пункту размещения особых РАО и пункту консервации особых РАО осуществляется в соответствии с положениями 190-ФЗ, то есть Правительством Российской Федерации. Вопрос об определении состава объекта в данном положении решен рационально – это ориентация на сведения, содержащиеся в проектной, конструкторской, технологической и эксплуатационной документации. Вопрос об определении границ объекта в данном положении решен недостаточно эффективно: «Границы объекта, отнесенного к категориям «ядерные установки», «радиационные источники» или «пункты хранения», определяются организацией на основании сведений, содержащихся в решении о сооружении и размещении объекта, принятом в соответствии с положениями Федерального закона «Об использовании атомной энергии»». Эта неэффективность обусловлена тем, что решения о сооружении и размещении большинства пунктов хранения РАО, в том числе приповерхностных могильников были приняты задолго до вступления в силу 170-ФЗ и иным образом.

Таким образом, первичная регистрация как разовое мероприятие должна ответить на следующие вопросы (табл. 5.4.1):

1. Сколько и каких РАО накоплено в данном месте размещения.
2. Какому типу пункта хранения соответствует это место размещения.
3. Какие это РАО – удаляемые или особые в тех случаях, когда это необходимо и возможно. По части пунктов размещения решение этого вопроса может быть отложено до истечения сроков эксплуатации пункта хранения.

Результаты первичной регистрации должны дать основу для формирования реестра РАО и кадастра пунктов хранения РАО.

Одновременно необходимо отметить, что в начинающихся процессах первичной регистрации много неопределенностей, связанных с позицией различных ведомств. Кратко рассмотрим основные процессы, которые будут происходить при первичной регистрации в трех вариантах развития событий. Эти варианты можно определить как вариант конечных определенностей, вариант минимальной определенности и вариант полной неопределенности. Анализ последствий реализации этих вариантов ясно показывает, что вариант конечной определенности наиболее благоприятен.

Возникает вопрос – сколько и каких (в смысле качественного состава) РАО находится в данном месте размещения и сколько из них накопленных? В решении этого вопроса решающую роль должны сыграть данные системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов (далее СГУК РВ и РАО). Принятый порядок проведения организации предусматривает сверку заполняемых при первичной регистрации актов с данными СГУК РВ и РАО и отдельный анализ несоответствий с выявлением их причин. В этом случае могут возникнуть определенные дискуссии относительно того, относятся ли эти РАО к накопленным, или нет, то есть образовались они до 15 июля 2011 года или после этой даты. Вопрос должна решить комиссия по первичной регистрации. Но уже сегодня можно предположить, что решения эти не принципиальны. Доля таких отходов в сравнении с накопленными крайне мала, а сроки выполнения государством работ по удалению накопленных и находящихся в федеральной собственности РАО не фиксированы во времени.

Отдельным и важным вопросом, который не следует забывать, является установление срока потенциальной опасности размещенных РАО. Ответ на него может сыграть решающую роль в последующем определении статуса пункта хранения.

Установление соответствия места размещения одному из типов пункта хранения является более сложной задачей, поскольку:

Таблица 5.4.1

**Краткие характеристики вариантов реализации первичной регистрации**

Вариант	В рамках первичной регистрации определены	Последствия
Конечной определенности	пункты захоронения РАО (десятки); пункты размещения и консервации особых РАО (до 200 объектов); пункты долговременного хранения (до 100 объектов); пункты и места временного хранения (большинство мест размещения)	Имеется возможность планирования и реализации работ по накопленным РАО. Комплекс работ по удалению, захоронению и консервации может быть выполнен к 2045–2050 годам. Эксплуатирующие организации имеют ясное понимание технической политики в отношении пунктов хранения и иных мест размещения
Минимальной определенности	пункты захоронения РАО (единицы); пункты размещения и консервации особых РАО (до 100 объектов, в основном объекты мирных ядерных взрывов); пункты долговременного хранения (до 400 объектов); пункты и места временного хранения (менее половины мест размещения)	Возможность планирования и реализации работ по накопленным РАО ограничена. Комплекс работ по удалению, захоронению и консервации может быть выполнен к 2080–2100 годам. Эксплуатирующие организации используют ПДХ до исчерпания проектных сроков эксплуатации рассчитывая на возможность их последующего отнесения к особым РАО
Полной неопределенности	пункты захоронения РАО (три действующих пункта захоронения ЖРО); пункты размещения и консервации особых РАО не определены; пункты долговременного хранения (500 и более); пункты и места временного хранения (менее половины мест размещения)	Ведущиеся работы по консервации накопленных пересматриваются. Комплекс работ по удалению и захоронению не может быть. Ставится вопрос о пересмотре критериев отнесения к особым РАО. Эксплуатирующие организации используют ПДХ до исчерпания проектных сроков эксплуатации, рассчитывая на возможность их последующего отнесения к особым РАО

- при этом может быть определен способ обращения с ними (удаляемые или особые) или принято решение о том, что этот вопрос еще предстоит решить (пункт долговременного хранения);
- большая по объему часть накопленных РАО размещена в полностью или частично документально оформленных пунктах хранения, а большее количество мест размещения РАО является отдельным помещением или специально выделенным участком в составе иного объекта (ядерной установки или радиационного источника), обеспеченного совокупностью своих документов, но вероятны и более сложные ситуации.

В целом процесс первичной регистрации должен начинаться (рис. 5.4.1) с определения того, что представляет собой место размещения накопленных РАО. Кратко

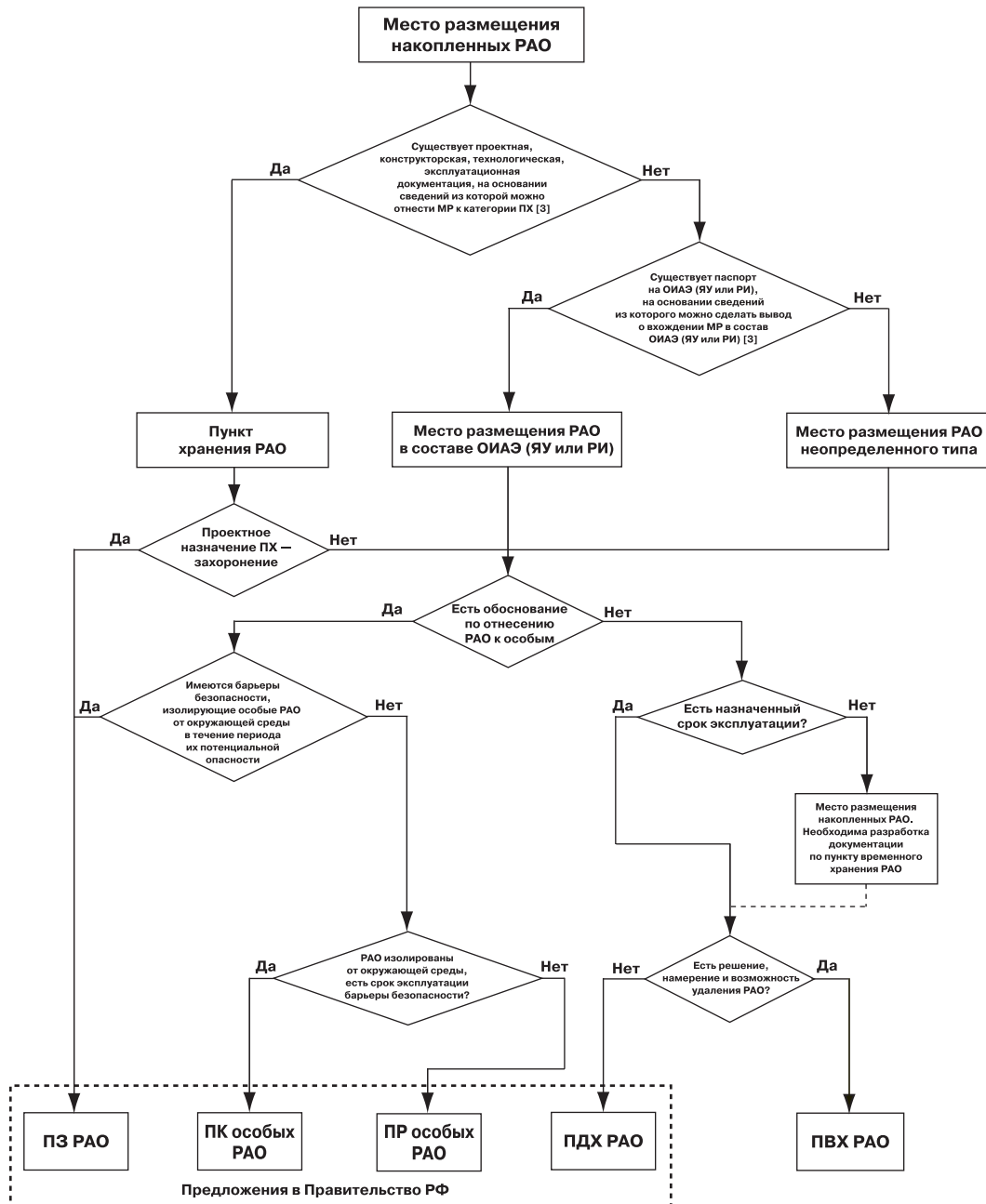


Рис. 5.4.1. Схема отнесения мест размещения накопленных РАО к отдельным типам пунктов хранения РАО

рассмотрим эту схему. Конечных вариантов три – это пункт хранения РАО в терминах 170-ФЗ, место временного хранения РАО в составе ядерной установки или радиационного источника или место размещения РАО неопределенного типа. Для последнего случая очевидных рецептов нет, и потребуются дополнительные решения и документы для возвращения этого места размещения РАО техногенного происхождения в первый из двух базовых вариантов, а именно – обособленный пункт хранения РАО. В принципе возможен вариант вхождения в систему первичной регистрации мест размещения отходов, не считавшихся ранее радиоактивными, а именно отходов

с повышенным содержанием природных радионуклидов, образующихся при добыче органического или минерального сырья. Порядок действий на этот случай еще предстоит разработать.

Рассмотрение места размещения РАО в составе ядерной установки или радиационного источника как отдельного пункта хранения обусловлено многими причинами. Среди них – особенности функционирования организаций отрасли на текущей стадии (выделение деятельности по обращению с РАО, приближение сроков вывода из эксплуатации основных объектов, трансформация производственных комплексов в целях развития и др.). Это одна из возможных вариантных развилочек, в рамках которой может быть проявлена необходимая гибкость, в рамках которой это место размещения РАО выделяется в новый пункт хранения какого-либо типа. Или все остается по-прежнему – в одной увязке с проблемами вывода из эксплуатации всего объекта.

После этого в процессе (рис. 5.4.1) первичной регистрации должен быть решен вопрос о типе пункта хранения. Если есть признаки пункта захоронения – отходы размещены без намерения их извлечения и соблюдены все требования по приповерхностному захоронению, то есть безопасность обеспечена на весь срок их потенциальной опасности, то этот пункт хранения может идентифицироваться как пункт захоронения РАО. При этом деление на удаляемые и особые РАО уже не требуется, но должны рассматриваться и последствия этого решения, связанные с необходимостью отчуждения пункта захоронения или оформления организации как имеющей право осуществлять захоронения РАО, образовавшихся при добыче и переработке урановых руд, или очень низкоактивных отходов. В случае, если эта последовательность по каким-либо причинам не может быть реализована, то целесообразно рассмотрение вопроса о признании этих РАО особыми.

Если нет признаков захоронения, то рассматривается вопрос о том, удаляемые это отходы или нет. Принятые критерии отнесения РАО к особым РАО таковы, что в большинстве случаев РАО не будут классифицироваться как особые. В этом случае (рис. 5.4.1) существует два варианта – оформление как пункта временного хранения или как пункта долговременного хранения РАО. В первом случае никаких дополнительных обоснований не потребуется. Во втором случае потребуется подготовка обосновывающих материалов, но в будущем возможно возвращение к рассмотрению вопроса, удаляемые это РАО или нет. Таким образом, это вторая и третья из возможных вариантных развилочек, в рамках которой может быть проявлена необходимая гибкость применения критериев отнесения к особым РАО и гибкость понимания словосочетания «проектом предусмотрены порядок и вывод его из эксплуатации». В последнем случае эта гибкость просто необходима. Существующая исходная проектная документация по старым пунктам хранения заведомо не удовлетворяет установленным в последние 10–15 лет многочисленным требованиям к проекту и проектной документации и, в подавляющем большинстве случаев, не предусматривает мер по выводу из эксплуатации. С другой стороны понятие «проект» не имеет четкого определения. В этой ситуации определение статуса пункта временного хранения РАО на основе документа эксплуатирующей организации явилось бы той отправной точкой, после которой был бы разработан и проект ведения работ по удалению отходов, и проект вывода из эксплуатации. Именно на это ориентирует и уже упомянутое положение об отнесении объектов к отдельным категориям.

О гибкости применения критериев отнесения к особым РАО. В связи с тем, что текст критериев [9] имеет много неопределенностей и пространства для трактовок приведем его полностью.



*«1. К особым радиоактивным отходам относятся радиоактивные отходы, образовавшиеся в результате выполнения государственной программы вооружения и государственного оборонного заказа, использования ядерных зарядов в мирных целях или в следствии ядерной и (или) радиационной аварии на объекте использования атомной энергии, жидкие радиоактивные отходы, размещенные в поверхностных водоемах - хранилищах радиоактивных отходов общим объемом более 25000 куб. м, введенных в эксплуатацию до вступления в силу Федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», а также донные отложения таких водоемов-хранилищ, соответствующие следующим критериям:*

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

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

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

Сегодня можно только констатировать, что для отнесения к местам размещения особых РАО таких очевидных объектов, как объекты мирных ядерных взрывов и сверхкрупные водоемы, придется проделать большой объем работ по обоснованию отнесения объектов. Это обоснование будут сопровождать многие предположения, которые могут быть оспорены. Предпосылок для этого более чем достаточно в связи со следующим.

По ряду объектов вопрос удаления РАО вообще никогда не рассматривался, как, например, по мирным ядерным взрывам или по водоему В-9 (Карачай). Следовательно, любые сценарные предположения могут быть поставлены под вопрос или потребовать дополнительных обоснований.

Процедура определения совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения таких радиоактивных отходов в месте их нахождения, рассчитанного в соответствии с законодательством Российской Федерации об охране окружающей среды, не имеет полноценного раскрытия в российском законодатель-

стве. Имеется некоторое количество судебных прецедентов в части определения размера уже нанесенного вреда, которые, видимо, не могут являться основой для развития ориентированной на будущее методики.

Тем не менее, представляется реализуемым и обоснованным упрощенный подход, в рамках которого производится разделение процесса консервации и удаления РАО на крупноблочные этапы (рис. 5.4.2), ряд из которых исключается из рассмотрения (рис. 5.4.3). Например, при решении вопроса по стационарному сооружению вклад в коллективную эффективную дозу в обоих вариантах дадут проведение обследования, создание инфраструктуры, создание барьеров безопасности, реабилитация территории, извлечение, переработка и кондиционирование РАО, транспортировка РАО, обращение с вторичными РАО после реабилитации, захоронение РАО. При этом достаточно очевидно и может быть обосновано, что по некоторым компонентам дозы облучения будут одинаковы в обоих вариантах. В результате для сопоставления используются только создание барьеров безопасности (в варианте особые РАО) и извлечение, переработка и кондиционирование РАО и транспортировка РАО (в случае удаления). Практический опыт создания барьеров безопасности или реконструкции пунктов хранения имеется. Также имеется практический опыт извлечения, переработки и кондиционирования РАО и транспортировки РАО. Вопросы облучения населения в связи с работами по удалению РАО или консервации пункта размещения не рассматриваются, поскольку длительность проведения работ и требования к ним одинаковы – радиационная безопасность населения должна быть обеспечена. Вопросы облучения населения в связи с существованием пункта консервации особых РАО и пункта захоронения РАО, в который могут быть помещены РАО после удаления, также не рассматриваются. Основание – и в том и в другом случае они будут находиться в допустимых пределах. Обоснованное доказательство этого должно содержаться в обосновании безопасности проекта консервации и в обосновании безопасности проекта пункта захоронения.

Аналогична ситуация и сопоставлением рисков. Сравниваться могут только риски, связанные с потенциальным облучением персонала и транспортированием РАО. Аналогичный подход применим и для ущербов окружающей среде – при соблюдении требований законодательства мы имеем только один вид ущерба в форме отчуждения земли на длительный период.

Завершит первичную регистрацию создание реестра РАО и кадастра пунктов захоронения. Законом введены новые понятия, в том числе:

- реестр радиоактивных отходов — систематизированный свод документированных сведений о радиоактивных отходах, полученных в результате первичной регистрации радиоактивных отходов и мест их размещения, а также о радиоактивных отходах, переданных национальному оператору;
- кадастр пунктов хранения радиоактивных отходов — систематизированный свод документированных сведений о пунктах хранения радиоактивных отходов, о субъектах права собственности на такие пункты и о размещенных в таких пунктах радиоактивных отходах.

Ведение реестра РАО и кадастра пунктов хранения РАО является частью существующей в России системы учета и контроля РВ и РАО, а деятельность по ведению этих информационных ресурсов уже закреплена за Центральным информационным центром системы ЦИАЦ, который в настоящее время функционирует в составе ФГУП «Национальный оператор по обращению с РАО».

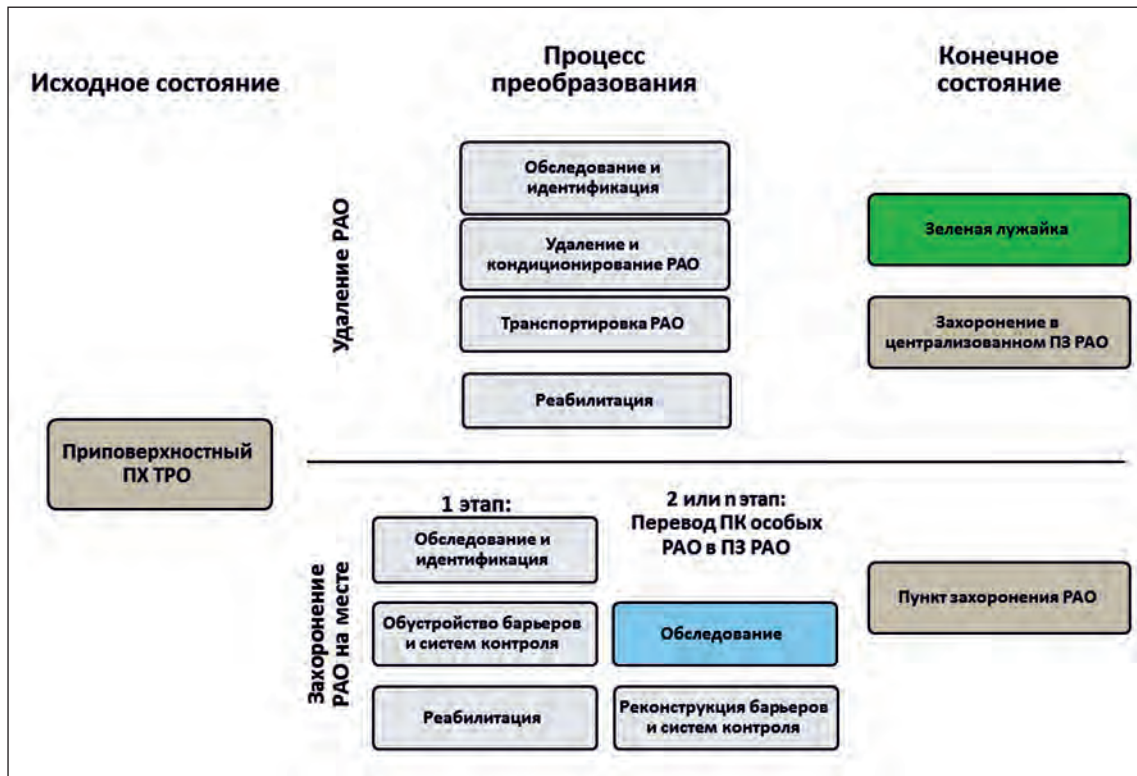


Рис. 5.4.2. Основные процессы, формирующие коллективную дозу облучения персонала и населения



Рис. 5.4.3. Основные компоненты коллективной дозы, подлежащие рассмотрению

Установленные законом требования к объему представляемой информации, а также процедуре ведения и хранения реестра РАО и кадастра пунктов их хранения нацелены на обеспечение сбора и сохранности возможно более полной информации о РАО на уникальное по продолжительности время — бессрочно. Порядок паспортизации РАО в принципе определен законом, а затем и уточнен соответствующим по-

рядком. С учетом развития информационных технологий создание взаимосвязанных СГУК РВ и РАО, реестра РАО и кадастра пунктов хранения не представляется крупной проблемой. При этом необходимо обратить внимание на то, что в ряде стран национальными операторами (АНДРА и др.) предусматриваются меры по сохранению всей информации о захораниваемых РАО и на бумажных носителях с повышенными прочностными свойствами.

Для функционирования СГУК РВ и РАО в новом формате необходимо определить процедуры внесения изменений по статусу пункта хранения, которые теперь будут формироваться на основании перечней, утверждаемых Правительством Российской Федерации, и учесть результаты отнесения пунктов хранения РАО к имеющим федеральное или межрегиональное значение либо не имеющим федерального или межрегионального значения.

В будущем необходимо предусмотреть возможность развития системы информационной компоненты СГУК РВ и РАО для задач сквозного контроля качества работ по обращению с РАО (производитель – специализированные организации – национальный оператор), контроля упаковок, приведенных в соответствии с критериями приемлемости для захоронения, и задач управления потоками РАО, направляемыми на захоронение.

### **5.5. Обеспечение гибкости создаваемой системы и ее адаптации к изменениям во внешней среде и накоплению правоприменительного опыта**

Создание ЕГС РАО является сложным процессом, при реализации которого должны заблаговременно рассматриваться и учитываться все риски и узкие места, которые могут оказать критическое влияние на целевые результаты. При разработке закона на этом уделялось первостепенное внимание, и многие из планировавшихся механизмов гибкости в целом сохранены. В последующий период также предпринимались меры по выработке обоснованных решений, но в ряде случаев они оказались не вполне успешными. Это вовсе не означает, что эти решения неисправимы. У создаваемой системы по-прежнему достаточно элементов гибкости, но механизмы их реализации становятся все более сложными. Эти механизмы предусматривают возможность внесения изменений в сам текст закона, нормативно-правовые акты Правительства России, федеральных органов управления и регулирования безопасности, а также условия их реализации при обязательной обоснованности таких изменений на основе практического опыта.

В этой ситуации задача аккумуляции данных по узким местам и связанным с ними рискам становится приоритетной. К сожалению, межведомственные, а иногда и смысловые сбои происходили и в период разработки самых важных документов — критериев отнесения отходов к радиоактивным, критериев отнесения к особым и установления классов для захоронения. Аккумуляцию данных по допущенным ошибкам и неточностям целесообразно осуществлять в разрезе документов, в которых они допущены. Это позволит своевременно подготовить корректирующие действия и существенно расширить обоснование этих коррекций.

В настоящее время во многих случаях существуют теоретические предположения о том, что ошибка или неточность были допущены и их необходимо исправлять, поскольку они значимы. Насколько весомыми эти ошибки и неточности окажутся на практике, покажет опыт правоприменения. Приведем ряд примеров.



*Критерии отнесения отходов к радиоактивным отходам*

Критерии отнесения отходов к радиоактивным определяют сферу деятельности ЕГС РАО. Поэтому на первых этапах создания ЕГС РАО представлялось целесообразным ограничить сферу действия системы только теми отходами, в отношении которых захоронение является единственным способом обеспечения безопасности. То есть необходимо предупредить появление «черных дыр», которые в определенной мере могут сказаться на темпах развертывания ЕГС РАО.

Буквально до 2010 года вопрос «А что такое РАО?» не стоял. В стране существовал единый подход, в рамках которого в документах разных ведомств действовали одни критерии отнесения к РАО, и понятие РАО применялось только в связи с использованием атомной энергии. В отношении отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов, образующихся при добыче органического или минерального сырья, использовалось словосочетание «как с радиоактивными отходами», но они рассматривались отдельно. Это был плюс.

Но были и многие минусы, главный из которых — слишком тонкая граница между тем, что можно пить и есть, и жидкими радиоактивными отходами. Следствием этих минусов были разнонаправленные явления. Иногда вопросы обращения с РАО принимали очень острый характер, как например в 2004 году, в связи с трактовкой загрязненных при прошлых авариях поверхностных вод в районе расположения ПО «Маяк». Последнее обстоятельство послужило причиной возбуждения уголовного дела против генерального директора ПО «Маяк». Одновременно происходило регулярное игнорирование фактов повышенного содержания цезия-137 в отходах производства и потребления на загрязненных чернобыльских территориях. И, опять-таки, одновременно — регулярные сообщения средств массовой информации об обнаружении на московских рынках и последующей утилизации на НПО «Радон» опасных отходов в форме черники, содержащей повышенные концентрации цезия-137. Напомним, что допустимое содержание цезия-137 в дикорастущих ягодах — 160 Бк/кг, и рассчитано оно исходя из предположения регулярного их потребления, чего конечно никогда не происходит.

В конце 2009 года на завершающей стадии обсуждения законопроекта по РАО, перед внесением его в Государственную Думу, вследствие жесткой позиции Минэкономразвития России под действие законопроекта была вовлечена большая группа материалов неядерной природы, образующихся при добыче и переработке минерального и органического сырья с повышенным содержанием природных радионуклидов. Это принципиальное осложнение для системы обращения с РАО, которая должна была бы действовать в жесткой связке с общей системой регулирования безопасности при использовании атомной энергии. В принципе, это обстоятельство могло быть исправлено путем аккуратного установления критериев для отходов, не содержащих техногенных радионуклидов. Но этого пока не произошло.

В 2010 году ситуация еще более усложнилась. Основными санитарными правилами ОСПОРБ-99/2010 были заданы новые, так называемые единые критерии отнесения к радиоактивным отходам веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии.

При этом границы отнесения к жидким радиоактивным отходам для бета-излучающих нуклидов были увеличены в десятки и тысячи раз по сравнению с ранее действовавшими нормативами. Аналогична ситуация по газообразным радиоактивным отходам. После появления нового документа отдельные представители промышленных предприятий облегченно вздохнули — теперь будет легче. Но это было заблужде-

ние, поскольку этим же документом вводилось новое понятие — так называемые жидкие производственные отходы с повышенным содержанием техногенных радионуклидов, для которых установлены требования отдельного по отношению к жидким радиоактивным отходам системам обращения, с одновременным требованием их концентрирования и обязательного отверждения. Требование, во-первых, более чем противоречивое, поскольку концентрирование таких жидкостей неизбежно переводит их в категорию жидких радиоактивных отходов. Во-вторых, оно полностью не учитывает практику обращения с ЖРО на АЭС, других предприятиях, где собираются, концентрируются и очищаются все воды — те, которые содержат радиоактивность, и те, которые при любых нарушениях в работе могут ее содержать.

Добротного обсуждения проекта ОСПОРБ–99/2010 не произошло, не были взвешены все положительные и отрицательные стороны нового подхода. А они были, в том числе и значимые, связаны с требованиями Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами. Наиболее полно они были рассмотрены в рамках секций № 10 «Ядерная и радиационная безопасность» НТС Росатома в июле 2011 года. Наличие этих проблемных ситуаций нашло отражение и в позиции других органов регулирования. Ростехнадзор оставил без изменения все документы, касающиеся правил учета радиоактивных отходов. Таким образом, уже несколько лет предприятия живут как бы в двух системах требований, соблюсти которые одновременно невозможно. Такую ситуацию нельзя признать нормальной.

Эта двойкость отразилась и на содержании 190-ФЗ. В нем появилась норма о том, что ряд критериев по РАО определяет Правительство Российской Федерации. Эти критерии должны определить, каков общий объем материалов, подпадающих под действие системы обращения с РАО, какая часть РАО подлежит обязательному извлечению, переработке и захоронению, а какая часть подлежит консервации на месте размещения как особые РАО, а также классифицировать удаляемые РАО для целей захоронения по признакам, указанным в части третьей статьи 4 190-ФЗ. Классификация РАО для целей их захоронения должна была стать конечным адресом размещения РАО на захоронение и основой для установления тарифов на их захоронение. Причин этому было как минимум две. Во-первых, понятие радиоактивных отходов присутствует и в атомном, и в природоохранном, и в санитарном праве. Во-вторых, закон определил, что часть отходов, в том числе все накопленные, находятся в федеральной собственности, причем в форме существенного обременения для бюджета. В этом случае именно Правительство Российской Федерации должно устанавливать эти критерии и порядок их применения.

Планировалось, в том числе на уровне Правительства России, что работа по этой группе документов завершится к марту 2012 года. Ответственным ведомством было обозначено Минприроды России. В конце февраля текущего года новые критерии рассматривались на совместном заседании секций 5 и 10 НТС Госкорпорации «Росатом». К этому времени признаков выработки согласованного решения по критериям не было. Заслушав представителей ведомств, две профильные секции НТС Росатома сформулировали некоторые позиции, которые могли бы стать основой межведомственного компромисса.

В середине марта 2012 года Минприроды России направило на согласование новую редакцию проекта документа, в котором ряд замечаний был учтен, но рассмотренные проблемные моменты сохранились. К лету 2012 года не наблюдалось признаков того, что новые критерии появятся быстро, и того, что не произойдет существен-

ных подвижек в сравнении со старыми критериями, существовавшими до 2010 года.

Преимственность нормативов — это очень хороший признак. Но такими же хорошими и даже более принципиальными признаками являются и их научно-техническая обоснованность, в том числе по критериям затраты-выгода и возможность их безоговорочного исполнения. И здесь важно не следование какой-либо одной формуле, основанной на уровне вмешательства или на конкретном пороговом значении, а детальное описание и исключение ситуаций, в которых отнесение отходов к РАО является сложной и дорогой операцией, не дающей реального повышения радиационной безопасности.

В целом ситуация по критериям отнесения к РАО к лету 2012 года оказалась предсказуемо сложной [10]. Для ее исправления нужна была быстрая консолидация науки и практики, поскольку вопрос далеко не второстепенный. Возможных негативных последствий установления невыверенных критериев и классификаций несколько. Во-первых, это принуждение организаций к неоправданным затратам без отдачи для безопасности, что полностью противоречит принципам радиационной защиты. По стране эти дополнительные затраты на захоронение малоопасных отходов могли составить миллиарды рублей ежегодно. Во-вторых, это торможение создания современной системы обращения с РАО.

В условиях дефицита времени решение вопроса о критериях перешло на более высокий уровень. Вопрос рассматривался в Правительстве России с участием руководителей заинтересованных ведомств (июль — август 2012 года). Одним из участников этого обсуждения стал директор ИБРАЭ РАН член-корреспондент РАН Л.А. Большов. По его мнению, в критериях отнесения было четыре проблемных ситуации (табл. 5.5.1). Причиной этих проблемных ситуаций являлись игнорирование одного из основных принципов радиационной защиты и отсутствие понимания назначения ЕГС РАО.

Таблица 5.5.1

Предложения по критериям отнесения к РАО по состоянию на лето 2012 года

Радионуклиды	ТРО	ЖРО	ГРО
Техногенные с большим периодом полураспада		Установлены предельно низкие значения	
Техногенные с малым периодом полураспада	Не имеет отношения к теме. Около половины радионуклидов имеет период полураспада меньше месяца; около 2/3 — меньше полугодия		
Природные		Подобная практика нигде в мире не применяется	

Итак, по вопросам критериев отнесения к РАО было две альтернативы: сохранить все как есть или модернизировать критерии, избавившись от необходимости вовлекать в систему обращения с РАО материалы чрезвычайно низкой опасности. В последнем случае удастся сконцентрировать усилия на решении главной задачи — избавлении эксплуатирующих организаций от бесконечного обслуживания накапливаемых РАО.

Первая проблема заключалась в отступлении от базового принципа радиационной защиты — принципа оптимизации, который гласит, что затраты на защиту долж-

ны хорошо оправдаться повышением безопасности. Вариант сведения всего разнообразия физических, технологических, исторических и природных обстоятельств в одну таблицу (табл. 5.5.1) со значениями разного рода предельно допустимых концентраций радионуклидов – тупиковый. Почему тупиковый? Потому, что в проблеме техногенных РАО значимо очень ограниченное количество радионуклидов (см. раздел 1.2), никаких оснований для установления предельно низких значений по ЖРО и ГРО нет, некоторые части этой таблицы нигде в мире не заполняют. В обобщенной форме это показано в таблице 5.5.1, проблемные зоны выделены ярким цветом. К сожалению, основное внимание в ходе обсуждения было уделено проблеме техногенных ЖРО. В результате итогом более углубленной проработки стало принятие критериев [11], в которых (табл. 5.5.2) по двум зонам (техногенные ЖРО и природные ГРО) проблемность была в основном снята.

Таблица 5.5.2

**Проблемные зоны утвержденных критериев отнесения к РАО**

Радионуклиды	ТРО	ЖРО	ГРО
Техногенные с большим периодом полураспада			Установлены предельно низкие значения
Техногенные с малым периодом полураспада	Не имеет отношения к теме. Около половины радионуклидов имеет период полураспада меньше месяца; около 2/3 – меньше полугодя		
Природные		Подобная практика нигде в мире не применяется	

Рассмотрим кратко оставшиеся проблемные зоны, отметив, что и в беспроблемную зону вкрались некоторые ошибки. В перечень радионуклидов не попали  $^{95}\text{Zr}$  и  $^{95}\text{Nb}$ , значимые в проблеме выбросов. По изотопам цезия-129 и 131 и по изотопам бария-131, 133 и 140 критерий отнесения к отходам для этих нуклидов определен в 10 УВ, а не в 100 УВ, как для остальных радионуклидов.

1. По газообразным техногенным радионуклидам в качестве критерия принято значение допустимой объемной активности в атмосферном воздухе для населения. В отношении таких концентраций есть технологии измерения — прокачиваются сотни и тысячи кубометров воздуха и измеряется активность на фильтрах. К любой технологической деятельности с ограниченным объемом газа этот подход не применим при таких концентрациях. Причем не только в организации, где эти ГРО образовались, но и в лучших лабораториях страны. Еще одна проблема, с которой наверняка будут разбираться профессиональные союзы — это работа персонала в среде ГРО.

Почти такая же норма существовала и ранее, только значения были выше и соответствовали допустимой объемной активности для персонала. На практике она не применялась, поскольку вопрос о перемещении РАО не стоял. Теперь он ставится и нужна работающая норма. В перспективе придется этот критерий повысить до значений 100–1000 ДОА для персонала, но не просто газа, а газа в емкости, которую мы можем контролировать.



2. По перечню радионуклидов. Он крайне избыточен, поскольку касается короткоживущих нуклидов. Признание материала РАО сразу влечет за собой четкие действия: поставить на учет, заполнить регистрационные карточки и т. д. Нет никакого смысла делать этого для короткоживущих радионуклидов, так как их время жизни в некоторых случаях сопоставимо с периодом формирования регистрационных форм. И в этот короткий временной период они остаются радиоактивными веществом, обращение с которым регламентировано.

3. По жидким отходам с природными радионуклидами. Использование этого критерия может привести к оценке стоков из большинства хвостохранилищ добывающих отраслей. В эти хвостохранилища ежегодно добавляется около 3 миллиардов тонн твердых отходов (табл. 5.5.3). Даже при незначительных стартовых концентрациях (ниже критериев отнесения к ТРО) из-за осадков и выщелачивания могут появиться тысячи ручейков с ЖРО, с которыми потребуется бороться. Может быть, это произойдет в меньшем масштабе, но на практике может возникнуть трудно прогнозируемое количество проблемных ситуаций.

Таблица 5.5.3

**Проблема возникновения ЖРО с природными радионуклидами из не отнесенных к ТРО отвалов и хвостохранилищ**

Радионуклид	Граница ТРО, Бк/кг	Граница ЖРО, Бк/кг	Возможные концентрации при выщелачивании из материалов, не являющихся ТРО, Бк/кг
K-40	100000	2200	4000
Ra-224	10000	210	400
Ra-226	10000	49	400
U-238	10000	300	400
Th-232	1000	60	40

Способ предотвращения этих процессов один — укрыть все хвостохранилища. Наверное, добывающие отрасли к этому не готовы. Ведь потребуются десятки миллиардов рублей, которые не будут иметь отношения к обеспечению реальной безопасности населения и международной практике. Отказ от регулирования в системе РАО этого вида отходов также будет соответствовать международной практике. В рамках этой практики применяется принцип исключения, когда регулирование не осуществляется вовсе. Так поступают с жидкостями и газами, содержащими природные радионуклиды.

4. Что еще было бы целесообразно сделать на начальном этапе создания ЕГС РАО? Было бы целесообразно сконцентрироваться исключительно на понятных и ясных объемах отходов, которые необходимо захоранивать (рис. 5.5.1). А затем, по мере готовности, выходить на более широкий круг, если появится уверенность в том, что это может повлиять на безопасность, если варианты будут просчитаны. В реализованном подходе количество ситуаций, связанных с необходимостью обращения с РАО, может оказаться очень значимым, в том числе из-за черных дыр, по природным радионуклидам, по газообразным отходам, из-за необходимости реализовывать общие про-

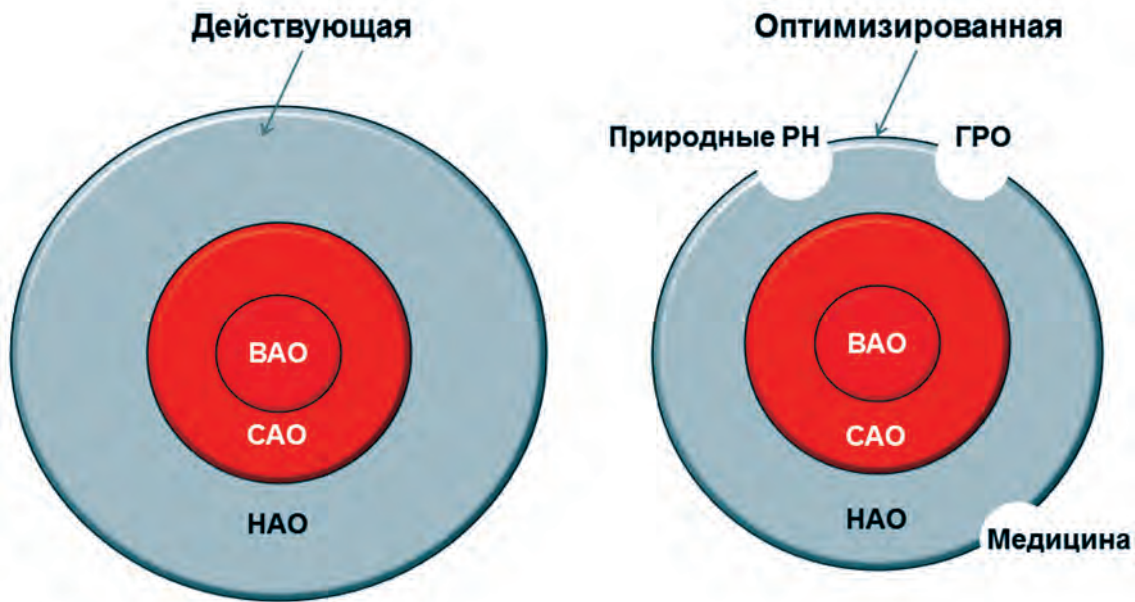


Рис. 5.5.1. Реализованный и оптимизированный подходы к сфере действия ЕГС РАО

цедуры в отношении небольших количеств отходов с пограничными значениями активности в медицине и т. д. Все это может затруднить и создание системы, и ее последующее функционирование. Зарубежная практика имеет массу примеров, когда эти исключения тщательно определяются.

Кратко поясним суть некоторых из положительных сдвигов, произошедших летом 2012 года в части критериев отнесения к ЖРО. Для атомной промышленности их два — нижняя граница ЖРО и отдельное рассмотрение трития.

Выбор общего критерия для нижней границы ЖРО не имеет прямого отношения к современным ядерным технологиям. В основных технологических процессах этапное состояние ЖРО перед отверждением соответствует гораздо более высоким концентрациям, в том числе на многие порядки. Принципиальность нижней границы по ЖРО обусловлена двумя обстоятельствами — практической реализацией существующего природоохранного запрета на сброс ЖРО и работоспособностью национальной системы обращения с РАО. Существовавшие и новые методики определения допустимого сброса, безусловно, обеспечат защиту человека. Поэтому природоохранное требование по запрету, казалось бы, должно обеспечить одно — сохранение объектов биоты в непосредственной близости к месту сброса. С этой точки зрения применение любой величины в диапазоне от 1 до 100 УВ одинаково оправданно. При любых, даже самых консервативных, предположениях о разбавлении и ограниченности длительности воздействия на окружающую среду, объекты биоты не будут получать дозы, дающие какие-либо обнаружимые эффекты (на уровне особи и популяции). Использование в качестве базы значений, кратных УВ, позволяет учесть особенности метаболизма и уровень опасности нуклида, по крайней мере, для млекопитающих. Увеличение нижней границы до величин 100 УВ позволит исключить большую часть практических трудностей, связанных с отнесением к ЖРО отходов, образующихся при осуществлении хозяйственной деятельности на загрязненных территориях. И, тем самым, обеспечит возможность обязательного исполнения требований при сохране-

нии высокого уровня радиационной безопасности и для человека, и для объектов биосферы.

Ситуация по тритию более принципиальна — единообразия в данном случае никак не оправдано. Радиозэкологическая опасность любого радионуклида определяется его радиотоксичностью, способностью к миграции и концентрированию в биосфере. Для стронция, например, коэффициент концентрирования (в цепочке «вода — донные отложения — гидробионты») может достигать тысячи раз, а для цезия — десятков тысяч раз. Тритий в этом смысле существенно отличается — природных механизмов его концентрирования в биосфере не существует. Эти различия хорошо иллюстрируют два рисунка. На одном из них (рис. 5.5.2) даны типичные уровни содержания цезия в объектах биоты при длительном загрязнении воды на уровне 1 Бк/л. На другом (рис. 5.5.3) — аналогичная ситуация для трития. Оценки расчетные, но в их обоснование имеется очень большое количество экспериментального материала [12]. Эти рисунки достаточно ярко демонстрируют потенциал консерватизма при применении единообразного подхода на основе уровней вмешательства. Кроме этого, при выборе нижней границы для трития необходимо учесть и его относительно небольшой период полураспада и тот факт, что эффективных способов очистки вод от трития не существует. При ежегодном сбросе одной условной единицы активности трития на протяжении 60 лет в замкнутый водоем к концу эксплуатации этого трития в водоеме будет не 60 условных единиц, а не более 20. В результате игнорирования столь фундаментальных отличий и следования принципу единообразия цена предотвращенной коллективной дозы может достигнуть миллиардов долларов на 1 человеко-животное. Подобный подход полностью противоречит базовым принципам радиационной защиты.

Завершая обсуждение критериев отнесения к РАО, отметим еще раз, что ЕГС РАО — не очередной дублер системы санитарно-гигиенического нормирования или регули-

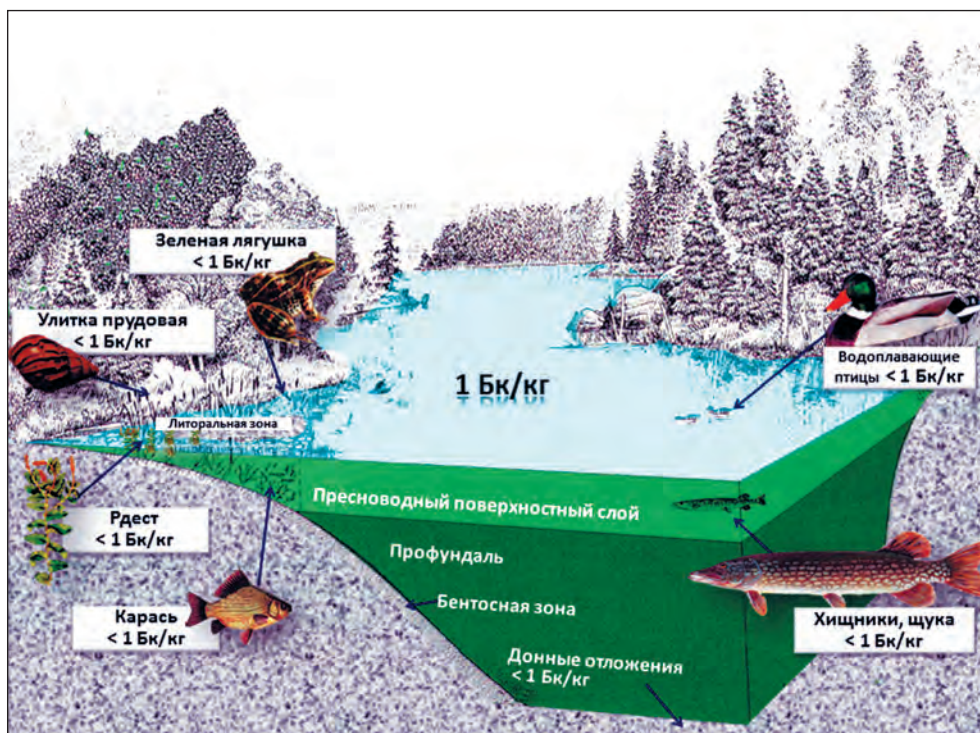


Рис. 5.5.2. Тритий в объектах живой природы



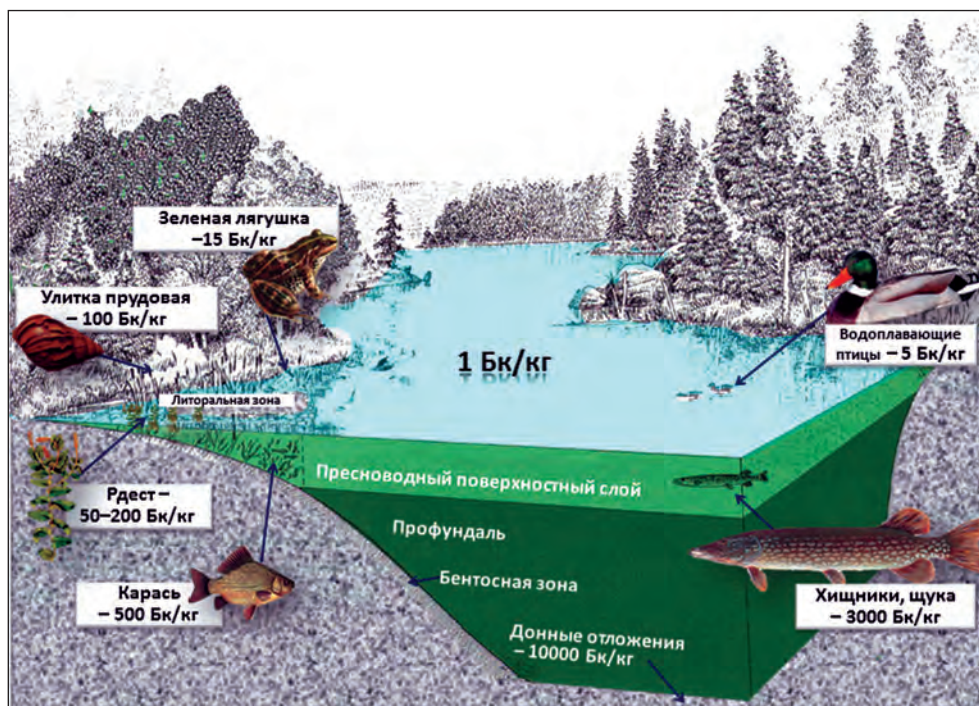


Рис. 5.5.3. Накопление радионуклидов цезия объектами живой природы

рования безопасности при использовании атомной энергии. Это система обращения с отходами необычайно высокого уровня безопасности. Она не просто требует, что это класс такой-то и нужно поступать вот так. ЕГС РАО требует: РАО необходимо привести в соответствие с критериями приемлемости для захоронения, привезти на захоронение и оплатить захоронение. Естественно, что в такую систему не должны поступать пограничные активности и короткоживущие радионуклиды.

Критерии отнесения к особым радиоактивным отходам.

В части отнесения к особым радиоактивным отходам также создаются предпосылки для постановки вопроса о необходимости внесения изменений. В утвержденных критериях [12] вместо рациональной формулы – прямое перечисление некоторых объектов или отдельные критерии для остальных пунктов хранения; применена иная формула, которая предполагает и очерчивание круга объектов, и обязательное выполнение расчетных обоснований.

### **Классификация для целей захоронения**

Задумывалось, что будет введена новая классификация РАО для целей захоронения. На это прямо указывает часть третья статьи 4 190-ФЗ: удаляемые радиоактивные отходы классифицируются для целей их захоронения по определенным признакам. Это означает, что нет необходимости в пересмотре предусмотренного санитарными правилами категорирования РАО по степени опасности в реальном времени. Необходимо предложить новые классы для захоронения, в которых ключевым аспектом будет не фактическая активность РАО, а период их потенциальной опасности. Это означает, например, что даже при относительно высокой активности РАО могут быть захоронены в недорогом могильнике, если их период потенциальной опасности, скажем, меньше 100 лет.



К сожалению, в новой классификации есть определенные элементы путаницы. Например, так называемые очень низкоактивные радиоактивные отходы, по которым прямо предусмотрены некоторые упрощенные процедуры захоронения (ст. 27 закона), объединены в один класс с низкоактивными отходами, для которых таких послаблений нет. При этом они зачем-то, может быть для целей обращения, выделены в отдельную категорию. Но с точки зрения текущего обращения они ничем не отличаются от низкоактивных РАО.

В целом вопросы классификации РАО предстоит еще доработать. Стоит сохранить существующую санитарно-гигиеническую классификацию по удельной активности, которая предназначена для безопасности персонала, и не усложнять ее введением новой категории очень низкоактивных РАО. Новая классификация для обеспечения безопасности персонала не нужна. Существующая классификация апробирована в течение многих десятилетий — и сбоя не давала, дозы облучения персонала, занятого обращением с РАО, были много меньше допустимых. Однако в части классов для захоронения это очень нужно, поскольку главным является не столько текущая активность РАО, а период потенциальной опасности. В этом предположении система классификации для захоронения могла бы существенно отличаться от классификации для целей безопасности (рис. 5.5.4). Закон по РАО предусматривает некоторое ослабление требований при захоронении только для ОНРАО, но не для всех. Это в полной мере соответствует рекомендациям МАГАТЭ (рис. 5.5.5).

## Заключение

1. Вступлением в силу федерального закона «Об обращении с радиоактивными отходами и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и первых подзаконных актов определены:

- состав и сфера действия ЕГС РАО, определяемые критериями отнесения отходов к радиоактивным отходам;
- национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами;
- порядок передачи радиоактивных отходов на захоронение;
- критерии отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам;
- классификация радиоактивных отходов;
- порядок и сроки проведения первичной регистрации радиоактивных отходов, образовавшихся до дня вступления в силу федерального закона, установления мест их размещения.

2. По всем основным направлениям работ по созданию ЕГС РАО достигнуты значимые результаты, в том числе:

- Национальный оператор разработал и начал реализацию своей инвестиционной и производственной программы. Установлением тарифов на захоронение и прогнозов образования сформирован источник их финансирования.
- Во всех организациях начата первичная регистрация РАО и условий их размещения, которая будет завершена к концу 2014 года.
- Во всех организациях Госкорпорации «Росатом», в результате деятельности которых образуются РАО, развернуты работы по планированию преобразования систем обращения с РАО, предусматривающие доведение уровня переработки и подготовки РАО к захоронению до 100%.
- Организации, имеющие потенциал оказания услуг по обращению с РАО, также планируют свою деятельность на будущее.

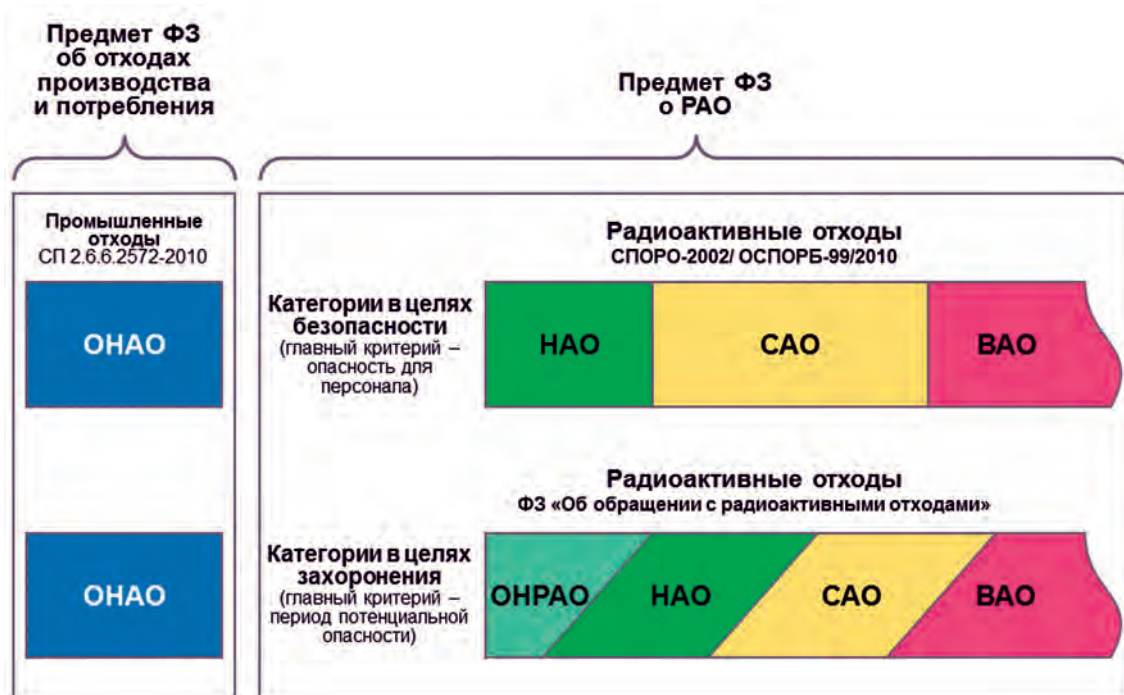


Рис. 5.5.4. Оптимизированная система категоризации и классификации РАО и промотходов

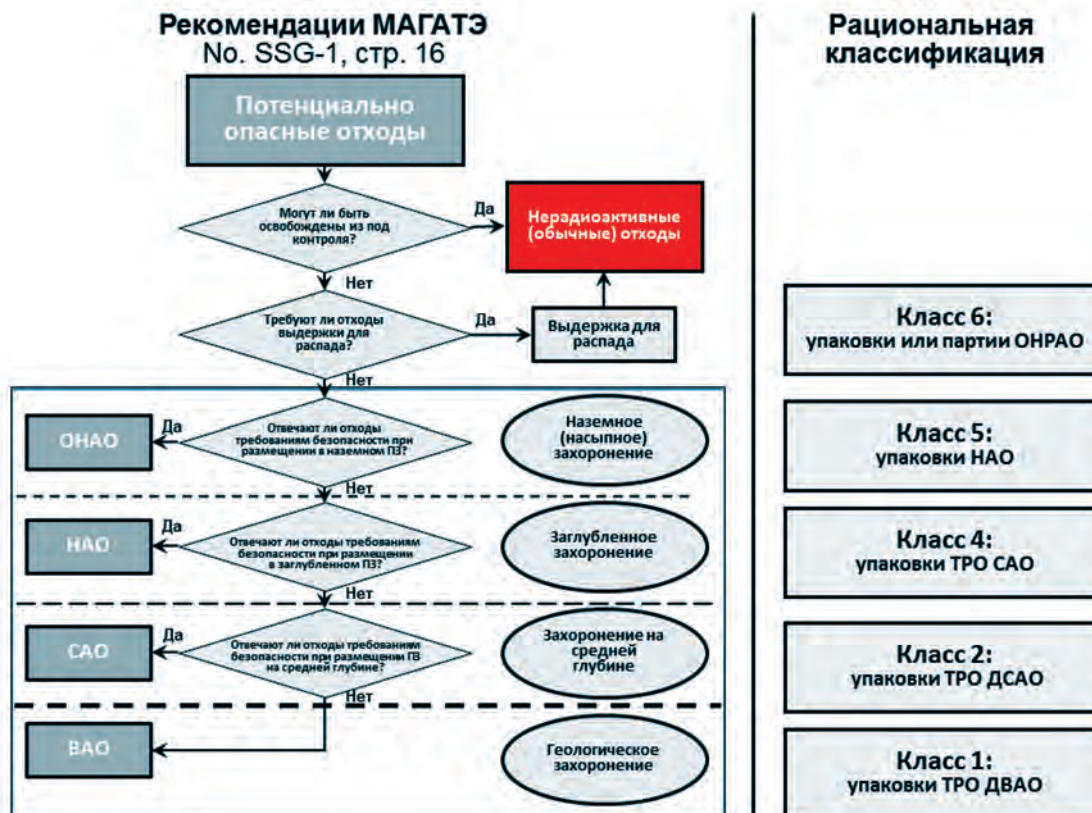


Рис. 5.5.5. Рекомендации МАГАТЭ [13] по захоронению РАО и предложения по классам для захоронения

3. По каждому из развернутых направлений реализованы важные этапы, связанные с определением рисков, которые могут осложнить создание ЕГС РАО или выйти за рамки базовых принципов радиационной защиты по соотношению затраты/выгода. Для этих ситуаций предложены решения и подходы.

4. Создаваемая система имеет элементы гибкости, которые позволят в будущем разрешить некоторые проблемные моменты, вероятность возникновения которых существует. В ряде случаев потребуются обоснованная корректировка принятых нормативно-правовых актов. Только практическая деятельность и опыт их правоприменения позволят подготовить технические и экономические обоснования и оценки. Наиболее вероятно, что изменения потребуются в части РАО с повышенным содержанием природных радионуклидов; критериев отнесения РАО к особым, которые обрекают на большой объем работ по обоснованию отнесения к ним многих пунктов размещения РАО, в отношении которых удаление РАО является невозможным; принятой классификации РАО, которая в ряде случаев завышает реально обоснованную финансовую нагрузку на организации, в результате деятельности которых образуются РАО, без какого-либо выигрыша для обеспечения радиационной безопасности. Можно ожидать, что к 2016 году основные нормативно-правовые акты, регламентирующие функционирование ЕГС РАО, не только вступят в силу, но и претерпят некоторые изменения, основанные на практическом опыте правоприменения.

## Литература

1. Большов Л.А., Линге И.И., Ковальчук В.Д., Уткин С.С., Ельфимова Т.Л., Поляков Ю.Д. Становление национальной системы обращения с радиоактивными отходами: уроки, успехи, ожидания. // Атомная энергия. Том 111, вып. 3, сентябрь 2011. С. 126–131.
2. Комментарий к Федеральному закону «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». / Под общей редакцией Т.Л. Ельфимовой и И.И. Линге — М.: «Комтехпринт», 2011. 194 с.
3. Абрамов А.А., Ракитская Т.Г. Безопасное обращение с РАО как индикатор технологического состояния атомной отрасли // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды . №1, 2011. С.10–188.
4. НП-058-04. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения.
5. НП-055-04. Захоронение радиоактивных отходов. Принципы, критерии и основные требования безопасности.
6. РБ-023-02. Рекомендации по установлению критериев приемлемости кондиционированных радиоактивных отходов для их хранения и захоронения.
7. НП-019-2000. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности.
8. Контейнеры для радиоактивных отходов низкого и среднего уровней активности: монография / Р.М. Гатаулин, Н.Н. Давиденко, Н.В. Свиридов и др.; под ред. В.Т. Сорокина. — М.: Логос, 2012. — 256 с. + илл.
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».
10. Линге И.И. Обосновать критерии. Проблемные моменты становления новой системы обращения с РАО / Росэнергоатом. — 2012. — № 7, — С.18–23.
11. Казаков С.В., Уткин С.С. Подходы и принципы радиационной защиты водных объектов. М.: Наука, 2008. — 318 с.
12. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов».
13. Классификация радиоактивных отходов. IAEA. General Safety Guide Series No. GSG-1, 2009.

## **ГЛАВА 6**

### **Рост эффективности функционирования ЕГС РАО за счет рынка услуг**

ЕГС РАО в принципе нельзя рассматривать только как систему изъятия средств у организаций, в результате деятельности которых образуются РАО. Необходимость оплаты захоронения стимулирует мощный рыночный запрос на весь комплекс услуг по сбору, компактированию и переработке, кондиционированию и транспортировке РАО. Рынок должен дать на него быстрый и эффективный ответ. Почему быстрый? Потому что основной парк технологических решений по характеристике РАО, переработке и кондиционированию уже давно существует [1–7] и представляет собой апробированный товарный продукт. По основным логистическим решениям обращения с РАО за рубежом также накоплен значительный опыт, включая опыт тотального контроля характеристик отходов на всем пути РАО от момента отнесения к ним до прибытия на пункт захоронения и проверки соответствия критериям приемлемости.

При наличии такого рыночного предложения оборудования и установок и известного тарифа на захоронение, вопрос о приобретении технологий может и должен решаться уже не в режиме желательности – за счет прибыли и накоплений, а за счет кредита. На первом этапе развития ЕГС РАО окупаемость отдельных установок по переработке РАО может быть рекордно короткой по срокам.

Почему этот опыт не получал развития у нас? Ответ прост — до недавнего времени в Российской Федерации не существовало никаких реальных и действенных стимулов их развития. Этим объясняется ограниченность работ по квалифицированному разделению РАО от обычных отходов, ограниченности объемов и типов переработки и, одновременно, широта диапазона применяемых устройств и установок технологий переработки, отсутствие стремления к минимизации количества переделов и к максимальной загрузке установок.

Одновременно с рынком технологий и установок по переработке РАО получит развитие рынок услуг. В перспективе он может включать самые различные модели работы – от модели чистильщика, когда специализированная организация сама собирает отходы и характеризует их как РАО, до приема на переработку и кондиционирование отдельных видов РАО.

#### **6.1. Услуги по сбору РАО**

Опыт развития рыночных отношений показывает, что реализацию даже столь утилитарной функции, как уборка помещений и сбор обычного бытового мусора при определенных параметрах бизнеса правильнее доверить специализированной компании. Например, в 2010 году только в Москве работало более 500 клининговых компаний, в том числе около 100 крупных. В 2011 году рынок клининговых услуг в Москве вырос более чем на 20%. В случае сбора РАО услуга оказывается существенно более технологически насыщенной, а следовательно, и более дорогой и более эффективной. Кратко рассмотрим некоторые из таких услуг.



Углубленное разделение РАО/не РАО. Обеспечить формирование целостного парка измерительного оборудования для собственных нужд смогут, может быть, некоторые очень крупные эксплуатирующие организации. Подавляющему большинству организаций нужна услуга — квалифицированный и аттестованный ответ на вопрос: РАО или нет. В этих условиях даже самый дорогой характеристизатор РАО стоимостью 20–30 млн руб. может полностью окупиться или дать экономический эффект уже при выводе за рамки категории РАО сотни кубов отходов.

Можно привести много примеров рыночного предложения подобного оборудования. Например, специализированный измерительный комплекс для характеристизации и паспортизации упаковок с РАО стоимостью около 25 млн руб. Комплекс предназначен для установления содержания  $\gamma$ -излучающих радионуклидов, а также  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучающих и трансурановых нуклидов, определяемых по  $\gamma$ -излучению продуктов распада с использованием масштабных коэффициентов. Или другой специализированный комплекс паспортизации РАО — MERLIN 1.03 (ENVINET, Чехия). Система обеспечивает тонкие измерения до уровней неограниченного использования. Примечательно, что он мобилен — выполнен на базе кунга (душевая, кухня, операторская с измерительным комплексом — 3 детектора ППД ОЧГ ORTEC 35% с электроохладителями, 2 пластмассовых сцинтилляционных детектора для измерения поверхностного бета-загрязнения) с необходимой защитой для проведения низкофоновых измерений. Стоимость такого комплекса — около 9 млн руб.

В отношении организаций, занятых добычей и переработкой минеральных и органических руд, услуга по сбору РАО может оказаться единственным выходом из положения. Организации не требуется получение лицензии на обращение с РАО. Она иногда приглашает своеобразного чистильщика, имеющего такую лицензию, который идентифицирует и, может быть, полностью берет ответственность на себя как организация, в результате деятельности которой эти РАО образовались.

Сбор отработавших источников и малых количеств РАО также является удивительно комфортной областью оказания рыночных услуг и, прежде всего, для региональных подразделений РосРАО. Единственное, что надо будет сделать — научиться разделять и кондиционировать эти отходы наиболее эффективным образом, а не размещать без переработки и кондиционирования на хранение с неопределенным сроком и перспективами.

## 6.2. Рынок технологий и услуг по переработке РАО

Представляется, что переработка и кондиционирование РАО как ключевой для практики аспект также получит самостоятельное и быстрое развитие после реального включения финансовых механизмов и определения критериев приемлемости. Они сформируют и рыночный спрос на работоспособные технологии. При этом, конечно же, следует учесть три аспекта: применение объектно независимых технологий, применение технологий, встроенных в общий технологический процесс с рассмотрением общих компоновочных решений производства или технологии вывода из эксплуатации, когда и происходит основной процесс разделения элементов конструкции, зданий и сооружений на РАО и не РАО. Если в одном случае технологии готовы к применению, то в другом случае они требуют либо встраивания в основные технологические процессы, либо комплексных решений, а в третьем, по сути, определяют стратегию демонтажа и его стоимость. И здесь необходим комментарий. Весьма часто обсуждаются идеи признания всех РАО, образующихся при выводе из эксплуата-

ции, накопленными, то есть отходами, оплата захоронения должна быть отделена от стоимости работ по выводу из эксплуатации. Идею следует охарактеризовать как в высшей мере непродуктивную. Ведь в этом случае за рамками конкурентных рыночных отношений оказывается важнейшая характеристика компетенции организации — исполнителя работ по выводу из эксплуатации. А именно ее умение оптимизировать объем и характеристики сдаваемых на захоронение РАО. Причем оптимизация в данном случае это не просто минимизация.

Следует отметить, что до недавнего времени и спрос, и предложение на все три вида деятельности были весьма ограниченными. Как правило, ведущие проектно-конструкторские организации занимались воспроизводством однажды выработанных решений или ограничивались их эволюционным развитием, без ощутимых признаков прогресса. В других случаях компетенции ограничивались научно-исследовательскими работами, в лучших случаях, с разовыми внедрениями. В отдельных случаях организациям удавалось создать солидный научный потенциал и формировать крупные комплексы опытно-экспериментальных установок. Это, прежде всего, МосНПО «Радон», в котором кроме чрезвычайно широкого комплекса научно-исследовательских наработок был сформирован уникальный по перечню комплекс оборудования для переработки РАО, включающий в себя печи остекловывания, прессы и суперпрессы и многие другие установки. Примечательно, что предоставление услуг по таким комплексным решениям также присутствует на рынке.

Одним из ярких примеров предложений подобного рода являются предложения компании NUKEM Technologies. Фирма NUKEM была создана в 1960 г. в целях участия в создании ядерного топливного цикла в Германии. В 2006 г. произошло выделение компании NUKEM Technologies. С 2010 г. NUKEM Technologies входит в состав ЗАО «Атомстройэкспорт». Опыт сотрудничества компании NUKEM Technologies с российскими организациями в части применения технологий обращения с РАО, ОЯТ и ВЭ развивался с 1970 г.: поставка оборудования на Кольскую АЭС, центр обработки РАО на Балаковской АЭС, совместные проекты с МосНПО «Радон», строительство центра по переработке ТРО на Ленинградской АЭС, контракты по созданию заводов по переработке РАО и ОЯТ на условиях «под ключ» на АЭС «Козлодуй», Чернобыльской и Игналинской АЭС.

Компания NUKEM Technologies не только аккумулирует опыт по обращению с РАО, ОЯТ, выводу из эксплуатации, но и создает и развивает технологии, занимается инжинирингом и консалтингом в этих направлениях. Предложения компании по обращению с РАО и по выводу из эксплуатации содержат полный спектр услуг — от разработки концепций до выполнения проектов на условиях «под ключ» (рис. 6.2.1–6.2.6).

Уже в 2010 году Дирекцией ЯРБ Госкорпорации «Росатом» стали прорабатываться варианты привлечения компании к более активной работе на российском рынке.

Одной из форм такого продвижения стали семинары для российских специалистов. В декабре 2010 года состоялся первый трехдневный семинар [8], который прошел в головном офисе компании. В нем приняли участие представители Дирекции ЯРБ Госкорпорации «Росатом», ОАО «Концерн «Росэнергоатом», ОАО «ВНИИАЭС», ФГУП «ПО «МАЯК», ФГУП «ГХК», ОАО ГНЦ «НИИАР», ЗАО «АСЭ», ОАО «НИКИЭТ», ФГУП «ФЦЯРБ», ОАО «ВНИИНМ», ОАО «РАО Проект» и ИБРАЭ РАН.

Специалистами NUKEM Technologies в части обращения с РАО были сделаны обширные доклады по следующим темам:

- вывод из эксплуатации экспериментальной АЭС в г. Каль, Германия;
- программа по планированию вывода из эксплуатации Cora-Calcom;





Рис. 6.2.1. Установка для подготовки отходов к измерениям и контролю активности



Рис. 6.2.2. Суперкомпактор. Установка для суперпресования ТРО



Рис. 6.2.3. Установка пресования фильтрующих элементов



Рис. 6.2.4. Установка цементирования

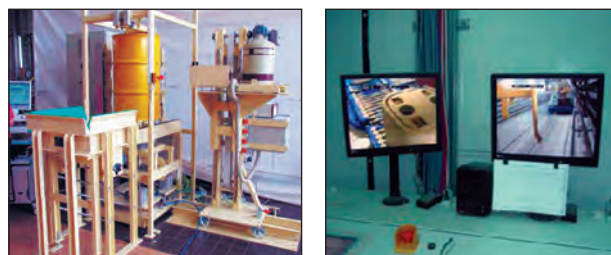


Рис. 6.2.5. Системы измерения для контейнеров и бочек с переработанными РАО и телевизионные системы



*Рис. 6.2.6. Выпарной аппарат с доупаривателем  
(производительность — 30–5.000 л/ч,  
концентрирование ЖРО — 0,6–600 г/л)*

- лучшие практики по выводу из эксплуатации (дистанционно управляемый демонтаж АЭС «Бреннилис», Франция);
- технологии дезактивации;
- вывод из эксплуатации и демонтаж бывшей фабрики по производству ТВЭЛов NUKEM-A в г. Ханау, Германия;
- радиологическое измерительное оборудования, применяемое при демонтаже ЯРОО;
- технологии демонтажа;
- демонтаж исследовательского реактора в г. Карлсруэ, Германия;
- техника безопасности при выводе из эксплуатации;
- обращение с твердыми радиоактивными отходами, образующимися при выводе из эксплуатации;
- переработка облученного графита;
- вывод из эксплуатации завода по производству МОХ-топлива.

Семинар показал, что имеющийся опыт работ по ВЭ содержит апробированные технологии по очистке грунтов с контрольным измерением на отсутствие активности, уникальный опыт по разделке корпусов реактора внутри реакторного здания, референции по демонтажу объектов вплоть до состояния «зеленой лужайки», разработанные технические средства, такие как манипуляторные системы, средства водоструйной резки, средства термической резки, механизмы с дистанционным управлением, средства химической дезактивации, средства механической дезактивации.

Технические решения по обращению с образующимися в процессе ВЭ РАО охватывают основные направления: выпаривание и концентрирование ЖРО, цементирование и остекловывание, сортировка и фрагментация ТРО, пиролиз и пирогидролит, системы мониторинга, сжигание и газоочистка, транспортно-технологическое оборудование, хранилища и могильники.

Сфера применения технологий демонтажа конструкций при ВЭ охватывает все возможные условия радиационно опасных работ: автогенная резка, резка плазменным плавлением, плазменная резка проволокой высокого сопротивления, плазменная резка под водой, плазменная резка на воздухе, дуговая контактная резка, лазерная резка, резка алмазным канатом, фрезеровка, пальцевые фрезы, циркулярные фрезы, резка спецножницами, гидроабразивная резка, пилы, сверление, отбойники, гидравлические прессы, а также комбинации технологий разделки.



Принципиально важен алгоритм применения технологий демонтажа к объекту ВЭ, который состоит из последовательности решений: анализ конкретной ситуации, стратегия разделки с сопоставлением вариантов, проектирование и планирование работ, компьютерное моделирование, стендовые испытания, оптимизация, перенос на объект. В этом алгоритме цена кондиционирования и захоронения всех РАО, образующихся при ведении работ, занимает одно из самых важных мест.

Для прогнозирования объема средств, необходимых для вывода из эксплуатации, уже более 30 лет используется инструмент CORA-CALCOM (ПК СС), находящийся в собственности компании NIS (бывшее подразделение NUKEM). Комплекс позволяет с необходимой степенью достоверности оценить стоимость работ по ВЭ. Модель и методы выполнения расчетов компании NIS одобрены налоговыми органами Германии, инспекцией по ядерной безопасности Швейцарии (HSK), Делфтским университетом Нидерландов, PricewaterhouseCoopers (PwC).

Расчеты проводятся на основе фрагментирования объекта (в блоке АЭС выделяется от 200 до 1200 составляющих в зависимости от требуемой точности результата) и учета по каждому фрагменту (масса, поверхность, радиологические данные) конкретной задачи ВЭ. При этом учитывается потребность в персонале, стоимость, поток затрат, графики, сроки, масса образующихся РАО, упаковки для захоронения РАО, вторичные отходы, включая РАО, и составляется план-график работ по ВЭ (планирование, лицензирование, проведение демонтажа, обращение с отходами). Принципиальным моментом является итерационность процедуры. Расчеты регулярно уточняются (для АЭС Германии актуализируются ежегодно, на других объектах не реже раз в несколько лет). Результаты расчетов ПК СС используются для оценки и актуализации стоимости ВЭ объектов в Германии, Бельгии, Нидерландах, Франции, Швейцарии, Литве и Италии, а также применяются для определения финансовой ответственности.

Семинар показал высокую заинтересованность организаций отрасли в освоении новых технологий. За первым семинаром последовал второй [9], рост заказов от организаций отрасли. Одна из последних работ компании — концепция по обращению с РАО на АЭС с блоками ВВЭР ТОИ, где предусматривается конечный выход на годовой объем кондиционированных отходов — 44,5 куб. м в год на блок АЭС.

Кратко рассмотрим *основные технологии переработки РАО в форме изделий и элементов оборудования*. Зачастую для них необходимо, а при выводе из эксплуатации и ремонтах почти всегда, разделение на более мелкие составляющие. Фрагментация необходима для упрощения и повышения эффективности кондиционирования и упаковки. В литературе подробно описаны [1–7] следующие методы фрагментации: плазменно-дуговой, метод «дуговой пилы», разрядно-взрывной с линейной формой разряда и традиционные методы резки металлов. Для фрагментации бетонных конструкций этот список дополнен методами взрыва, бурения и раскалывания, методами пламенной или тепловой резки, резки при помощи алмазных инструментов, а также методом разрушения струей воды высокого давления. При всей кажущейся простоте упомянутых методов фрагментации, как правило, широко применяемых в промышленности для иных целей, принципиально важны количество образования вторичных РАО и технология их последующего сбора.

**Прессование** — это самый простой способ, позволяющий сократить расходы на последующее обращение. Коэффициент сокращения объема может достигать 10. Ограничением использования данной технологии является отсутствие фиксации радио-

нуклидов. Для прессования обычно используют вертикальные и горизонтальные прессы. Применяется прессование практически повсеместно на всех этапах обращения — даже после приемки на захоронение. Установки прессования различаются по давлению. Прессы низкого давления обычно развивают усилие до 10 МН. В качестве одного из типичных примеров можно упомянуть пакетировочную установку прессования в ГУП МосНПО «Радон». Прессование в бочках часто используется как подготовка отходов к суперпрессованию. Бочки со спрессованными отходами в дальнейшем поступают на суперпресс, где прессованию подвергается вся бочка вместе с отходами. Прессы высокого давления, также называемые суперкомпакторами, позволяют добиться наибольшего сокращения объема. После обработки высоким давлением из первичных бочек с отходами получаются так называемые «таблетки» спрессованных отходов. В таких прессах используется давление 10 МН или выше. Один из таких суперкомпакторов функционирует в МосНПО «Радон». Прессованием под высоким давлением можно получить продукт плотностью >90% от его теоретической плотности. Спрессованные «таблетки» радиоактивных отходов обычно помещают в бочки большего диаметра для последующей иммобилизации в цемент.

При выборе технологии прессования, по-видимому, ключевой задачей является оптимизация параметров полезного использования установки. В особенности это касается суперкомпакторов. В противном случае установка, по эффективности способная приносить выгоду, исчисляемую миллионами рублей в месяц, станет дорогой обузой. Достаточно очевидно, что рынок услуг в области переработки в целом и прессования в частности должен быть региональным и оптимизированным.

**Сжигание** позволяет в десятки раз уменьшить объем радиоактивных отходов. По сути, этот метод является универсальным, так как позволяет уменьшить объем как твердых, так и жидких органических РАО. Широкое распространение получили установки, конечным продуктом которых является зола. На таких установках перерабатывали только горючие радиоактивные отходы средней и низкой активности. В то же время несгоревшие частицы органики и негорючих материалов, пары летучих металлов, аэрозоли необходимо улавливать фильтрами перед выбросом в атмосферу. И использованные фильтры подлежат переработке как вторичные РАО. Зола после сжигания РАО необходимо дополнительно кондиционировать, для этого часто применяют цементирование, прессование и т. д.

Более интересны, но технологически сложны, плазменные технологии сжигания радиоактивных отходов с образованием плавленного шлакового компаунда. Продукт обладает высокой стойкостью и не требует дополнительных способов отверждения и иммобилизации. Кроме того, использование плазменных печей дает возможность сократить объем вторичных РАО по сравнению с традиционными печами. Другим преимуществом применения данного метода, является отсутствие необходимости в тщательной сортировке отходов (допускается перерабатывать до 40% негорючих компонентов) и сокращение до 2 раз объема отходящих газов. В то же время, эти установки имеют сдерживающий фактор развития, а именно высокие степени уноса легколетучих радионуклидов (десятки процентов), прежде всего, цезия-137, из плавителей и других высокотемпературных узлов плазменных установок.

**Окисление РАО в расплавах солей.** Данный метод был впервые использован в 1970-х годах в США. Особенности процесса приводят к тому, что значительная часть тяжелых металлов и радионуклидов остается в расплаве. В России в этой области проводились только опытные работы [10].

В отношении переработки ЖРО в мире также существует и широко применяется комплекс технологий, который позволяет отверждать все традиционные ЖРО.

На АЭС широко применяется **упаривание загрязненных вод**, несмотря на высокую энергоемкость. С его применением производится переработка кубового остатка до солевого концентрата, который в горячем расплавленном состоянии заливается в металлические бочки, превращаясь после охлаждения в монолит.

Для очистки низкоактивных ЖРО используют методы фильтрации, сорбции, микрофильтрации, ионного обмена, обратного осмоса, электродиализа, коагуляции, ультрафильтрации и некоторые другие. Каждый из указанных методов имеет свои ограничения, поэтому выбор метода или комплекса методов зависит от состава ЖРО и свойств его компонентов. С учетом большого разнообразия в химическом и радионуклидном составе ЖРО при разработке технологических процессов важны компетенции, позволяющие предложить оптимальную технологическую схему, состоящую из комбинаций различных приемов.

**Простая фильтрация** — это процесс очистки, когда вода (или жидкие радиоактивные отходы) проходит слой гранулированной фильтрующей засыпки (песок, дробленый керамзит и т. д.) или пористый материал (размер пор до нескольких десятков микрометров, например тканые материалы, фильтровальная бумага и т. п.). При простой фильтрации главным образом задерживаются взвешенные частицы и/или эмульсии вследствие их механической задержки или адгезионного взаимодействия с материалом фильтра или фильтровального слоя.

**Сорбция** — это процесс очистки жидких радиоактивных отходов, когда в результате контакта отходов с сорбентом или абсорбентом (активированные угли, цеолиты и т. п.) происходит сорбционное извлечение радионуклидов из раствора. Процесс может проходить как в статических условиях, так и в динамических (пропускание отходов через сорбционную колонку в непрерывном режиме). При сорбции вследствие взаимодействия радионуклидов с сорбирующим материалом происходит очистка раствора от растворенных в воде загрязнителей. В сорбционных процессах очистки могут использоваться как сорбенты широкого спектра действия, так и специфические сорбенты, извлекающие только определенные вещества или определенные радионуклиды. Все сорбенты обладают определенной сорбционной емкостью, после достижения которой сорбент нужно регенерировать или заменять на новый, а отработавший сорбент отправлять на иммобилизацию.

**Ионный обмен** (ионно-селективная очистка) — частный случай сорбции, когда ионы радионуклидов, находящиеся в растворе, обмениваются с нерадиоактивными ионами ( $H^+$ ,  $Na^+$  и др.), находящимися в матрице гранулированного ионообменника (ионообменные смолы, синтетические неорганические сорбенты, цеолиты), путем взаимодействия с ионообменными группами.

**Микрофильтрация** — это процесс фильтрации, когда ЖРО продавливаются через микрофильтрационную мембрану (диафрагму) с размером пор от 0,1 мкм до нескольких микрометров. Рабочее давление при микрофильтрации — до 0,1 МПа.

**Ультрафильтрация** — это процесс очистки ЖРО, когда отходы продавливаются через ультрафильтрационную мембрану с размером пор от 0,01 мкм до 1 мкм. Рабочее давление — до 0,5 МПа. При ультрафильтрации полностью задерживаются взвеси, коллоидные частицы, эмульсии, большая часть высокомолекулярных веществ, бактерии.

**Обратный осмос** — это процесс очистки ЖРО, когда отходы продавливаются через обратноосмотическую мембрану с размером пор от 0,001 мкм до 0,01 мкм. Рабо-

чее давление может достигать значений до 10 МПа. При обратном осмосе задерживаются практически все примеси, содержащиеся в воде.

**Электродиализ** — это процесс очистки ЖРО, когда очищаемые отходы протекают между катионообменной и анионообменной мембраной, а ионы радионуклидов под действием постоянного электрического тока выводятся из раствора через мембраны в соседние (концентратные) камеры.

**Реагентная коагуляция** — процесс соосаждения радиоактивных примесей в очищаемом растворе с осаждающимся носителем (гидроокись металлов, нерастворимые соли) при изменении рН, электроокислительного потенциала или соосаждения с добавленными осадителями (коагулянтами). В качестве осадителя может быть сульфат железа, гидроокись алюминия, другие соединения. Частным случаем реагентной коагуляции является реагентное окисление, когда в очищаемый раствор добавляют некоторый окислительный реагент (например, перманганат или бихромат калия) в целях разрушения органических примесей, препятствующих образованию нерастворимых соединений, или изменения валентной формы многозарядных ионов, способствующей образованию нерастворимых форм и их выведению в осадок.

**Электрокоагуляция** — процесс осаждения примесей вместе с ионами, растворяющимися в очищаемой воде из растворимого анода при пропускании электрического тока. Материалом анода при электрокоагуляции обычно служит железо или алюминий, которые после перехода в раствор в результате анодного растворения затем легко образуют нерастворимые соединения, выпадающие в осадок и захватывающие при этом растворенные радионуклиды.

**Технологии иммобилизации.** Известны и относительно широко применяются такие технологии, как битумирование, цементирование, остекловывание, включение РАО в минералоподобные матрицы. Если в отношении битумирования и цементирования накоплен значительный практический опыт, позволяющий подобрать адекватную технологическую цепочку, то в отношении остекловывания и/или включения в иные минералоподобные матрицы имеется существенно более ограниченный опыт, как правило, не завершившийся до настоящего времени выбором базовых технологий.

**Битумирование** — это включение радиоактивных отходов, в основном жидких или «влажных», в битумные материалы. Битумирование отходов используется в ядерной промышленности более 40 лет и применяется во многих странах. Такое широкое распространение битум получил благодаря своим высоким гидроизолирующим свойствам и термопластичности, позволяющей при нагревании включать компоненты отходов с получением стабильного однородного продукта. Битум как исходный материал для иммобилизации отходов весьма распространен, доступен и дешев, а само битумирование не приводит к значимому увеличению объема РАО.

**Цементирование** является одним из наиболее распространенных методов отверждения и кондиционирования РАО низкого и среднего уровня активности. Однако процессы взаимодействия цемента с водой могут значительно осложняться химическими реакциями с компонентами РАО, в результате чего сам процесс цементирования может осложниться, а качество компаунда — низким. Например, борная кислота, содержащаяся в ЖРО АЭС с реакторами ВВЭР, сильно замедляет процесс твердения цемента вплоть до его полной остановки. Нейтрализация борной кислоты добавлением щелочи приводит к увеличению объема и не уменьшает наличие борат-ионов, которые замедляют процесс отверждения цемента.



По этим причинам лучшие технологии цементирования, предусматривают различного рода приемы, позволяющие достичь одной или нескольких целей. Среди них уменьшение пористости, увеличение прочности, уменьшение тепловыделения при гидратации, улучшение текучести цементной пасты, уменьшение водопроницаемости, уменьшение выщелачиваемости цезия и др. Для этого используются различные присадки и добавки, такие как глинозем и другие глинистые материалы (вермикулит, бентонит), металлургические и вулканические шлаки, шлаки и зола от сжигания минерального топлива, известковые материалы, различные силикаты, сланцы и пластификаторы.

В случае цементирования отходов низкой и средней активности радиационная стойкость цементной матрицы остается в целом удовлетворительной.

Глубокая переработка РАО с выходом на кондиционирование и приведение в соответствие критериям приемлемости позволяет в ряде случаев сократить объемы РАО (табл. 6.2.1). Вторым и не менее важным аспектом переработки является конечный выход на конкретную упаковку для захоронения.

Уже отмечалось, что рынок технологий, реализующийся в поставке оборудования в организацию, должен дополняться рынком услуг по переработке РАО. География размещения основных организаций — производителей отходов (табл. 6.2.2) заведомо ограничивает возможности кооперации по какому-либо иному принципу, кроме регионального. В отношении небольшой доли РАО, образующихся вне атомной промышленности, такие услуги в очень упрощенной форме (прием на хранение) осуществлялись спецкомбинатами «Радон», ставшими филиалами ФГУП «РосРАО». При существующем оснащении этих филиалов установками по переработке РАО эффективно развить этот рынок только на их базе будет трудно. Необходимо привлечение существенно более широкого круга организаций.

### 6.3. Упаковки РАО и транспортирование РАО

Транспортирование РАО и как технологическая операция, и как перевозка, осуществляемая специализированной организацией, должна получить существенное развитие в сравнении с исходным состоянием, когда РАО в подавляющем большинстве случаев транспортировались исключительно в границах промышленной площадки и лишь в очень небольшом количестве случаев — на специализированные комбинаты «РосРАО».

Зарубежный опыт дает широкий диапазон решений по транспортированию, в том числе автомобильным транспортом, включая специальные объектовые транспортеры, железнодорожным и морским транспортом. В ряде случаев за счет предварительного планирования удавалось создавать очень компактные и эффективные системы, как, например, в Швеции. Основной объем РАО и ОЯТ в Швеции перевозится одним морским судном, а все последующие перемещения РАО осуществляются транспортерами.

Современный парк упаковок для РАО (табл. 6.3.1) также не может быть признан достаточным и оптимизированным. Производство новых, более эффективных для целей захоронения упаковок, представляется чрезвычайно актуальной задачей. Совершенно очевидно, что срок службы в 300 лет для ряда упаковок будет совершенно излишним.

Изоляцию РАО на такие сроки должны будут обеспечить защитные барьеры пункта захоронения. Ключевой вопрос эффективности захоронения — максимальное использование полезного объема ПЗРО. В этом смысле используемый сегодня парк

Таблица 6.2.1

**Изменение объема РАО при различных вариантах его переработки**

Тип отходов	Коэффициент уменьшения объема			Коэффициент увеличения объема при цементировании	Коэффициент увеличения объема при контейнеризации
	Прессование	Супер-прессование	Высокотемпературные методы переработки		
Горючие ТРО (зола) ( спецодежда, биологические, дерево)	—	—	50–120	1,5–1,9	1,2–2
Горючие ТРО (недозолы)	—	—	20–50	1,5–1,9	1,2–2
Металлоконструкции	4–6	5–20	5–20	1,3–1,9	1,2–2
Крупногабаритное оборудование	—	—	—	1,4–1,9	1,2–2
Прочие органические ТРО	4–10	—	—	1,3–1,9	1,2–2
ИОС ТРО	—	—	20–120	—	1,2–2
Прочие отвержденные ТРО	—	—	—	1–1,6	1,2–2
Цементированные ТРО	—	—	—	1	1,2–2
Кубовые остатки ТРО	—	—	—	3,5–6	1,2–2
Стройматериалы и мусор	2	10	2–6	1,2–1,9	1,2–2
Грунт	1,15	2	2–3	1–1,6	1–1,2
Керамика и посуда	—	—	2–6	1,4–1,9	1,2–2
Изоляционные материалы	2	—	50–120	1,4–1,9	1,2–2
Радиоизотопные приборы	2–5	5–20	—	1,2–2,2	1,2–2
Прочие ТРО	4–10	4–20	2–6	1,4–1,9	1,2–2
Отработавшие ЗРИ	—	—	—	3	3

контейнеров выглядит достаточно удручающим (табл. 6.3.1) по показателю «полезный объем упаковки/объем упаковки».

Видится несколько путей исправления ситуации в смысле эффективности захоронения. Переход от хранения с неопределенными сроками к хранению существенно изменяет набор требований к упаковкам РАО. Требование радиационной безопасности по критериям мощность дозы на поверхности упаковки может стать второстепенным, если использовать оборотный защитный чехол для транспортирования. Оче-

## Организация региональной кооперации

	ЦФО	СЗФО	ЮФО, СКФО	ПФО	УФО	СФО	ДФО
ЯОК	ВНИИА, НИИП, НИКИЭТ, СТАРТ, ЭХП	Атомфлот НИТИ		НИИИС, ВНИИЭФ	ВНИ- ИФТ, Маяк, ПСЗ, УЭМЗ	ПО СЕВЕР	
ЯЭК-РЭА	КалАЭС, КурАЭС, НВАЭС, СмАЭС	КолАЭС, ЛАЭС	РосАЭС	БалАЭС	БелАЭС		БилАЭС
ЯЭК- ТВЭЛ	ВНИ- ИНМ, МСЗ	Центро- тех-СПб		ЧМЗ, ОКБ- Нижний Новгород	УЭХК	АЭХК, НЗХК, СХК, ЭХК	
ЯЭК др.	Гидро- пресс			ОКМБ		ППГХО	
ЯРБ	РосРАО	РосРАО	РосРАО	РосРАО	РосРАО	РосРАО, ГХК	РосРАО
НТК	НИИТФА, ФЭИ, НИФТИ, НПО Луч, ТРИНИ- ТИ, ВНИИХТ	НТЦ ЯФИ		НИИАР			
Др. ГК Росатом	ВО Изотоп, Никимт- Атомстрой						
Иные отрасли	Мос НПО РАДОН, РНЦ КИ, МИФИ	ПИЯФ, СРЗ, Экомет					СРЗ

видно, что должны быть предусмотрены компенсирующие меры радиационной защиты на этапе извлечения упаковки из транспортного чехла и размещения упаковки в ПЗРО. Второй способ — использование для изготовления контейнеров загрязненного металла.

При этом неизбежна стандартизация весогабаритных характеристик упаковок и контейнеров для повышения эффективности процедур проверки на соответствие критериям приемлемости всех логистических процедур по размещению упаковки в ПЗРО.

Таблица 6.3.1

Типы контейнеров, применяемых при обращении с РАО в настоящее время

Условное наименование (тип) контейнера	Завод изготовитель	Внутренний объем/наружный объем, м <sup>3</sup>	Пределная активность РАО	Максимально допустимая масса упаковки, т	Конструкционный материал	Срок службы
1	2	3	4	5	6	7
<b>Хранение, внеобъектовое транспортирование, захоронение</b>						
НЗК-150-1,5П	ОАО «345 механический завод»	1,5/3,74	САО	7,3	Тяжелый бетон В50 (М700), плотность 2,45–2,65 т/м <sup>3</sup>	50 лет – хранение; 300 лет – захоронение
НЗК-150-1,5П(С)	ОАО «345 механический завод»	1,15/3,74	САО, солевой плав	7,3	Тяжелый бетон В50 (М700)	50 лет – хранение; 300 лет – захоронение
НЗК-150-1,5П (ИОС)	ОАО «345 механический завод»	1,15/3,74	САО, ионообменные смолы	—	Ж/б	50 лет – хранение; 300 лет – захоронение
НЗК-РАДОН	ОАО «345 механический завод»	1,9/3,64	САО	6,5	Ж/б	50 лет – хранение; 300 лет – захоронение
НЗК-РАДОН-01	ОАО «345 механический завод»	1,9/3,64	САО	6,5	Ж/б	50 лет – хранение; 300 лет – захоронение
НЗК-МР (1,2)	ОАО «НЭТ»	1,9/3,64	$3,7 \cdot 10^9$ Бк/кг – $\beta, \gamma$ $3,7 \cdot 10^5$ Бк/кг – $\alpha$ без ТУ $3,7 \cdot 10^4$ Бк/кг – ТУ	6,5	Тяжелый бетон В40 (М550), плотность 2,4–2,6 т/м <sup>3</sup>	50 лет – хранение; 300 лет – захоронение
НЗК- I	ОАО «НЭТ»	1,9/4,10	НАО в металлических бочках	7,2	Тяжелый бетон В40 (М 550)	50 лет – хранение; 300 лет – захоронение
НЗК- II	ОАО «НЭТ»	1,5/4,1	САО в металлических бочках	9,2	Тяжелый бетон В40 (М 550)	50 лет – хранение; 300 лет – захоронение
НЗК - III	ОАО «НЭТ»	0,6/3,64	ВАО	19	Тяжелый бетон	50 лет – хранение; 300 лет – захоронение
НЗК – 400 – 0,3	Разработчик – ФГУП «ГИ «ВНИПИЭТ»	—	ВАО	7,2	Тяжелый бетон В40	50 лет – хранение; 300 лет – захоронение
УКТА-150-1,5/4КЗ	На стадии разработки ФГУП «ЦНИИ ТС»	1,5/3,46	—	7,5	Особотяжелый бетон + сталь	50 лет – хранение; 300 лет – захоронение
БН-0,2	Свердловский ХИММАШ	0,2/0,25	САО, грунт	0,6	Углеродистая сталь	—



Таблица 6.3.1. Продолжение

1	2	3	4	5	6	7
КТ-2000	—	2/2	СаО	5	Углеродистая сталь	—
КТ-6000	—	6/6	СаО	15	Углеродистая сталь	—
<b>Хранение РАО</b>						
КМ-РАО 2.8	ОАО «НЭТ»	2,8/2,99	НАО	5,55	Металлический контейнер	30 лет
КТ-1500	ФГУП «СевРАО»	1,5/1,5	Условно «чистые» отходы	—	Углеродистая сталь	—
<b>Хранение и транспортирование</b>						
УКТН-24000	ООО «Балт Контейнер»	32,2/38,3	НАО	24	Металл	10 лет
КТБН-3000	ЗАО «Экомет-С»	/2,7	НАО	3	Ст3	—
УКТ1А-6	ФГУП «МП «Звездочка»	2,5/4,1	НАО	При транспор- тировании ТРО – 2,3 т При хранении ТРО – 5,3 т	Углеродистая сталь	10 лет
КРАД – 1,36 (КРАД – 1,36Т)	ОАО «345 механический завод»	1,36/1,47	СаО, захоронение в НЗК-150	0,2–3,14	Металл	—
КРАД – 3,0	ОАО «345 механический завод»	3,0/4,05	СаО, захоронение в НЗК-150	0,4–6,67	Металл	—
КРАД-1,3	ОАО «345 механический завод»	1,3/1,4	—	2–3	Сталь	30 лет
КРАД-2,7МО-1	ОАО «345 механический завод»	2,7/3,12	—	4,0–6,0	Сталь	—
КМЗ	—	—	—	—	Сталь	—
ЖБУ	—	1,0/2,0	—	4,5	Ж/б	50 лет
ЖЗК – 1	ОАО «Управление промышленных предприятий»	1,9/4,1	НАО в бочках	7,8	Тяжелый бетон В40 (М500), плотность 2,4–2,6 т/м <sup>3</sup>	50 лет
ЖЗК – 2	ОАО «Управление промышленных предприятий»	1,5/4,1	СаО в бочках	8,7	Тяжелый бетон В40 (М500), плотность 2,4–2,6 т/м <sup>3</sup>	50 лет

С учетом размещения организаций – производителей отходов и возможности создания пунктов захоронения представляется очевидным, что в России в течение нескольких лет предстоит создать систему транспортирования РАО, способную обеспечить перемещение до 5, а затем и 10–15 тыс. куб. м РАО в год. Причем построить эту систему, полностью оптимизировав транспортные плечи, по-видимому, не удастся. Причина этого в чрезвычайной трудности решения вопросов размещения пунктов захоронения РАО.

Несмотря на то, что основные и апробированные решения, в том числе реализованные за рубежом, хорошо известны, следует выделить несколько принципиальных условий развития. Их как минимум четыре:

1. Унификация и стандартизация весогабаритных характеристик контейнеров и упаковок с РАО, транспортных средств, предназначенных для пользования дорогами общего назначения, с грузоподъемными устройствами и транспортерами, планируемыми к использованию на пунктах захоронения. Наличие стандартизированных упаковок и контейнеров позволит существенно увеличить загрузку объектов транспортной инфраструктуры, сделать эту деятельность менее затратной и прибыльной, а, следовательно, и привлекательной для инвестиций.

2. Применение защитных чехлов на транспортных средствах для снижения требований по мощности дозы на поверхности упаковки с РАО. Это будет способствовать улучшению заполняемости пунктов захоронения собственно РАО и легко может быть компенсировано средствами автоматизации и радиационной защиты при загрузке в пункте захоронения. Имеется практический опыт приема упаковок на захоронение с мощностями доз на поверхности упаковки порядка 500 мЗв/ч, в то время как на поверхности транспортного средства мощность дозы должна быть ограничена величиной 2 мЗв/ч.

3. Проработка вопроса о транспортировании ЖРО. В этом случае часть накопленных ЖРО может быть направлена на действующие полигоны.

4. Использование загрязненного металла для изготовления контейнеров. Выгоды этого достаточно очевидны, особенно, когда речь идет о контейнерах для захоронения. На пути реализации повторного использования загрязненных металлов в атомной промышленности стоят определенные трудности, связанные с организацией процесса производства таких изделий без излишних экономических обременений. За рубежом подобная практика широко применяется.

Система требований МАГАТЭ по безопасности транспортировки также достаточно сильно развита и совместно с национальными требованиями норм и правил дает достаточную платформу для развертывания системы. Единственным естественным тормозом в развитии этого процесса сегодня является нехватка некоторых требований, в том числе упомянутых решений по стандартизации, критериев приемлемости. С высокой вероятностью можно предположить, что недостающие документы будут подготовлены в ближайшие годы.

#### 6.4. ИТ-решения

Современный уровень развития информационных технологий позволяет разрабатывать и применять специализированные ИТ-продукты и приложения не только для ведения системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов (РАО), ведения реестра и кадастра РАО и пунктов хранения, но и для практического управления всей технологической цепочкой обращения с РАО,

начиная с этапа сбора до их кондиционирования, транспортирования, передачи национальному оператору и размещения в пункте хранения.

В целом возможно создание единого информационного пространства, которое позволит эффективно решать задачи в области обращения с радиоактивными отходами в масштабах государства в рамках единой государственной системы обращения с РАО. Однако на начальном этапе необходимо раздельное решение следующего ряда задач:

- Модернизация информационной системы СГУК РВ и РАО с учетом задач ведения реестра РАО и кадастра пунктов хранения и программы ИТ-трансформации органа управления в области обращения с радиоактивными отходами – Госкорпорации «Росатом». Эта задача должна быть решена до начала первичной регистрации.
- Создание системы информационного обеспечения учета и прогнозирования образования РАО в организациях, эксплуатирующих ядерно и радиационно опасные объекты, ведения балансного бухгалтерского учета РАО, учета отчислений в специальный резерв по обращению с РАО и ведения баланса средств фонда. Эта задача также должна решаться в рамках программы ИТ-трансформации Госкорпорации «Росатом».
- Создание информационной системы обеспечения деятельности национального оператора по прогнозированию приема, управления объектами инфраструктуры и РАО на площадках национального оператора и реализации проектов.
- Создание информационной системы управления проектами органа управления в области обращения с РАО (проектного офиса), в том числе работами по накопленным РАО.
- Координация деятельности организаций-производителей РАО по внедрению информационных систем поддержки технологических процессов по обращению с РАО на стадиях сбора, переработки, кондиционирования, паспортизации и передачи национальному оператору.

Для реализации этих задач возможно применение различного рода инструментов и требований. В частности, модернизация системы СГУК РВ и РАО может быть реализована путем установления (расширения) требований по формам отчетности и содержанию документов реестра РАО и кадастра пунктов хранения. Вопросы информатизации прогнозирования образования РАО, их бухгалтерского учета и учета отчислений в специальный резерв реализуются в рамках требований документов органа управления и программы ИТ-трансформации Госкорпорации «Росатом». Пути развития системы информационного обеспечения деятельности национального оператора и органа управления должны быть разработаны заново, и для автономного варианта существования они достаточно очевидны. В варианте комплексной системы, которая предусматривает информационное взаимодействие производителей РАО, специализированных организаций в рамках единых программ обеспечения качества с заблаговременной передачей паспортов РАО, потребуются более значимые усилия на разработку системы и ее создание. Наиболее сложно могут решаться задачи внедрения информационных систем поддержки технологических процессов по обращению с РАО на стадиях сбора, переработки и кондиционирования РАО, поскольку речь идет о самостоятельной деятельности хозяйствующих субъектов. Однако именно в этой области могут сработать экономические стимулы, поскольку потенциал выгоды чрезвычайно велик. Помимо прямого экономического эффекта для хозяйствующих

субъектов от внедрения подобных систем поддержки технологических процессов обращения с РАО, налаживание обмена их данными с развивающейся СГУК РВ и РАО позволит значительно повысить достоверность информации, накапливаемой в СГУК РВ и РАО, что напрямую повлияет на качество планирования развития ЕГС РАО в целом. Это представляется тем более важным, что ведение СГУК РВ и РАО будет осуществлять национальный оператор, который заинтересован в ней не только как в учетной государственной системе, но и как в системе, обеспечивающей функции сбора исходных данных экономических оценок обращения с РАО на предприятиях.

Кратко рассмотрим возможную схему ИТ-обеспечения обращения с РАО на предприятии и организации эффективного управления отходами.

На предприятии должна быть создана система и общая база данных, содержащая всю информацию и обеспечивающая управление процессами по обращению с РАО, включая:

- фиксацию образования РАО и их характеризацию (дата, место, установка) с возможностью оценки динамики для внесения корректирующих действий по снижению образования и, самое главное, рекомендациям по разделению потоков — короткоживущие/долгоживущие, очень низкоактивные, низкоактивные и среднеактивные;
- учет перемещений и запасов некондиционированных РАО, находящихся на промежуточном хранении;
- формирование программ загрузки установок по переработке и кондиционированию РАО с выходом на упаковки с параметрами, близкими к верхней границе тарифного диапазона;
- учет объемов и характеристик РАО, переданных специализированным организациям, получаемых от них или передаваемых ими национальному оператору;
- формирование перечня упаковок, приведенных в соответствие с критериями приемлемости, и паспортов РАО для предварительного уведомления национального оператора о предстоящем поступлении РАО;
- передачу данных организации, осуществляющей транспортирование (перевозку) РАО, с дублированием этих данных в отраслевую автоматизированную систему безопасности транспортирования радиоактивных материалов ГК «Росатом» (далее АСБТ) и национальному оператору.

Наличие на предприятии описанной выше системы и согласованной национальным оператором программы обеспечения качества характеристики и классификации РАО позволит практически исключить случаи несоответствия критериям приемлемости и существенно, может быть в разы, снизить расходы на их захоронение. При цене за захоронение основных категорий в диапазоне 150–200 тыс. руб. за кубометр практически все технологии концентрирования оказываются рентабельными, если их осуществлять на оптимальном этапе технологической цепочки.

Аналогична ситуация и при обращении с РАО на объектах национального оператора. Это планирование адаптированной к принимаемым РАО процедуры проверки соответствия критериям приемлемости. Осознанное управление последующими операциями по хранению упаковок РАО и адресному размещению их в пункте захоронения и внесение соответствующих изменений в реестр и кадастр.

Примером указанной системы поддержки технологических процессов по обращению с РАО на крупном предприятии является создаваемая с 2012 года в ОАО «Концерн «Росэнергоатом» информационная система поддержки системы обращения с РАО (ИС ПСО РАО).



Создание в ОАО «Концерн «Росэнергоатом» структуры управления системой обращения с РАО АЭС включает в себя создание механизма информационной поддержки деятельности соответствующих структурных подразделений: Центрального аппарата (ЦА), Технологического филиала (ТФ) концерна, специализированных подразделений обращения с РАО (ХЦ, ЦОРО, цех дезактивации) на АЭС. С этой целью в рамках реорганизации структуры управления создается информационная система поддержки системы обращения с РАО (ИС ПСО РАО) на АЭС ОАО «Концерн «Росэнергоатом».

В отличие от уже существующих в том или ином виде на большинстве АЭС локальных систем учета и контроля РАО, создание ИС ПСО РАО ориентировано на решение значительно более широкого круга вопросов, нежели учет и контроль. Акцент ИС ПСО РАО направлен на обеспечение достоверной информацией для принятия обоснованных управленческих, технологических и финансовых решений на всех уровнях системы обращения РАО ОАО «Концерн «Росэнергоатом».

ИС ПСО РАО на АЭС должна осуществлять информационную поддержку на всех уровнях и на всех этапах жизненного цикла РАО, протекающих в зоне ответственности ОАО «Концерн «Росэнергоатом», включая сбор/получение, входной контроль, сортировку, предварительное хранение, все стадии технологических переделов, временное хранение и процесс передачи РАО на окончательную изоляцию национальному оператору. Согласно утвержденным техническим требованиям, ИС ПСО РАО должна обеспечивать:

- Единую нормативно-справочную базу для терминов, словарей и справочников для единообразного описания процессов, инфраструктуры и учетных единиц РАО на АЭС.
- Получение и интеграцию производственно-технологической информации об обращении с ТРО и ЖРО на АЭС, необходимой для определения затрат на обращение с РАО на АЭС.
- Оперативный производственный учет ТРО/ЖРО на всех этапах обращения и стадиях технологических переделов.
- Выпуск отчетных документов по РАО, включая ТРО и ЖРО, в соответствии с документацией, регламентирующей процесс обращения, учета и контроля ТРО на АЭС, и согласно типовым формам отчетности атомных станций по обращению с РАО.
- Обработку информации с выдачей пользователям локального уровня необходимых оперативных производственных отчетов.
- Обеспечение маркировки, а также средств автоматизированной идентификации упаковок РАО на всех этапах обращения с РАО для осуществления контролируемого хранения и оперативного получения информации о месте хранения и радиационных, физических и химических характеристиках упаковок РАО.
- Ведение электронного архива сопроводительных, учетных и отчетных документов.
- Средства описания технологических процессов по обращению с РАО на АЭС (с указанием их основных параметров) в целях обеспечения конфигурирования программного обеспечения локального уровня ИС ПСО РАО под специфику конкретной АЭС.
- Хранение и отображение трехмерных моделей хранилищ на площадках АЭС со средствами визуального доступа к информации и визуализации поисковых

запросов на трехмерных моделях. Визуализацию расположения контейнеров РАО в хранилищах ТРО с визуальным доступом к информации о контейнере.

- ИС ПСО РАО создается в виде взаимосвязанной двухуровневой территориально-распределенной информационной системы.

Интеграционно-аналитический уровень (ИАУ) ИС ПСО РАО должен функционировать в центральном аппарате ОАО «Концерн «Росэнергоатом». На ИАУ должны передаваться данные с локального уровня ИС ПСО РАО для формирования аналитических отчетов в различных разрезах. Пользователями ИАУ должны являться как специалисты ЦА РЭА, так и специалисты АЭС. ИАУ должен содержать общие словари и справочники для всех АЭС для целей унификации и классификации информации.

Локальный уровень (ЛУ) ИС ПСО РАО должен быть создан на АЭС как комплекс взаимосвязанных информационно-компьютерных технологий, которые позволяют реализовать информационную поддержку системы обращения с РАО на АЭС на современном уровне, обеспечить актуальность и достоверность информации, снизить издержки на обращение с РАО. Локальный уровень ИС ПСО РАО функционирует в ЦОРО на АЭС и обеспечивает задачи непрерывного учета РАО на всех этапах их жизненного цикла и стадиях передела, учета затрат на технологической цепочке обращения с РАО, планирования и контроля образования РАО, учета и соблюдения цеховых и станционных квот на образование РАО, контроля состояния и наполняемости станционных хранилищ РАО и др. На локальном уровне производится учет РАО, отгружаемых для хранения/захоронения на площадках специализированных предприятий и национального оператора. При выводе из эксплуатации блока АЭС, локальный уровень ИС ПСО РАО осуществляет информационное взаимодействие с информационной системой вывода из эксплуатации блока АЭС (ИС БДВЭ блока АЭС) для получения прогноза образования РАО, образующихся при ВЭ, а также передачи в ИС БДВЭ сводной информации о фактическом состоянии всех видов РАО на АЭС. Основными применяемыми технологиями на локальном уровне, позволяющими добиться решения указанных задач, являются:

- Автоматизированная идентификация (маркировка и идентификация) промежуточных и окончательных учетных единиц РАО и сопроводительных документов.
- Применение персоналом мобильных вычислительных устройств.
- Применение интегрированных комплексов характеристики РАО в ключевых точках технологического процесса обращения с РАО для обеспечения достоверной информации о радионуклидном составе учетных единиц.
- Интеграция с АСУ ТП установок по переработке и кондиционированию РАО, применение в составе установок технических средств сбора информации об эксплуатационных затратах и подсчета материального баланса.
- Применение параметрических трехмерных инженерных САПР-моделей объектов инфраструктуры обращения с РАО для интеграции инженерно-технической информации, оценки состояния инженерных барьеров, решения расчетных задач.

Таким образом, локальный уровень ИС ПСО РАО должен обеспечить следующие важнейшие показатели качества информации об обращении с РАО на АЭС: полноту, достоверность, оперативность, актуальность.

Важнейшим элементом ИС ПСО РАО является эффективная система характеристики РАО. Положения ФЗ № 190, определяющие необходимость снижения издержек при обращении с РАО на этапах от эксплуатирующей организации до нацио-

нального оператора, определяют систему характеристики как основу для принятия решений по радиационной, экологической безопасности и экономической эффективности ЕГС РАО.

Термин «характеризация отходов» {waste characterization} означает измерение физических, химических и радиологических свойств отходов с целью определения необходимости их дальнейшей коррекции, обработки или кондиционирования, или же пригодности к дальнейшему манипулированию, переработке, хранению или захоронению [11].

Согласно рекомендации МАГАТЭ, отходы «должны быть охарактеризованы в целях определения их физических, химических и радиационных свойств, а также облегчения ведения регистрации и передачи приемлемых радиоактивных отходов с одной стадии на другую» [12].

Создание в ИС ПСО РАО современной системы характеристики РАО позволит:

- обеспечить качественное проведение измерений физических и радиационных характеристик РАО;
- осуществить достоверную классификацию РАО и определить критерии приемлемости РАО для выбора наиболее безопасного и экономически эффективного варианта обращения с отходами, хранения и передачи;
- организовать объективный учет и контроль РАО на АЭС и в государственной системе учета и контроля РВ и РАО, в том числе инвентаризацию РАО;
- осуществлять разделение отходов в целях их освобождения от контроля;
- осуществлять прогнозирования изменения характеристик РАО, размещенных в хранилищах.

При отсутствии характеристики РАО, отвечающей современным требованиям, ее место занимают методики выполнения измерений, основанные на определении мощности дозы гамма-излучения от поверхности упаковки, понятии «радионуклидного вектора» и расчете корреляционных коэффициентов по отношению к реперному радионуклиду. Однако, как показывает практика, результаты реальной характеристики РАО различных видов не подтверждают методы, основанные на определении мощности дозы гамма-излучения.

По различным данным, ежегодные объемы образующихся на АЭС РАО составляют до 6000 м<sup>3</sup>, а объемы размещаемых на хранение РАО — до 4000 м<sup>3</sup>. При этом существуют следующие оценки категорирования РАО по активности:

- НАО (низкоактивные) — 90–95%;
- САО (среднеактивные) — 6–10%;
- ВАО (высокоактивные) — 0,2–0,6%.

На основании зарубежной статистики, основанной на опыте чешских АЭС, построенных по российским проектам, объем образовавшихся отходов по категориям оценивается следующим образом:

- промотходы — около 50%;
- ОНАО — 25%;
- НАО (низкоактивные) — 18%;
- САО (среднеактивные) — 8%;
- ВАО (высокоактивные) — 0,5%.

В современных условиях производственные отходы, в том числе содержащие РАО, превращаются в продукт, обращение с которым необходимо уметь оценивать в денежном исчислении и характеристики которого при перемещении между субъектами ЕГС РАО будут являться основой для определения тарифов и стоимости работ по обращению с РАО.

Появляется потребность в создании продукта с наименьшими затратами и заданными характеристиками, удовлетворяющими критериям приемлемости для различных стадий системы обращения с РАО. Получить продукт с заданными характеристиками и стоимостью можно только при знании характеристик первичных форм отходов.

Техническая возможность охарактеризовать весь объем отходов и провести их классификацию для выбора наиболее безопасного и экономически эффективного варианта обращения с ними дает огромный экономический эффект за счет:

- разделения отходов в целях их условного или безусловного освобождения от контроля;
- обеспечения достоверными сведениями системы обращения с РАО предприятия и государственной системы учета и контроля РВ и РАО;
- минимизации риска ошибочного решения при выборе способа переработки, хранения и передачи приемлемых радиоактивных отходов с одной стадии на другую;
- прогнозирования изменения характеристик и поведения РАО, предназначенных для размещения в хранилищах АЭС или субъектов ЕГС РАО.

Характеризация как единственный источник достоверных сведений о характеристиках РАО становится элементом ЕГС РАО, на основании которого возможно сформировать объективные показатели (критерии), способствующие взаимопониманию предприятий, и получить уверенность в том, что применяемые при обращении с РАО технологии используются безопасно и экономически оправданно.

Заслуживает внимания опыт организации и применения систем характеристики РАО при эксплуатации и выводе из эксплуатации объектов в Чешской Республике. Проведение характеристики РАО на территории Чешской Республики (АЭС «Дукованы» и АЭС «Темелин») обеспечивает компания ENVINET a.s. на принципах аутсорсинга. Компания уполномочена Государственным ведомством по ядерной безопасности (State Office for Nuclear Safety, SÚJB) для характеристики РАО и проведения измерений, определяющих соответствие характеристик отходов уровням освобождения от регулирующего контроля. Пристальное внимание регулирующих органов к компании требует организации работ на уровне мировых стандартов качества. Компания владеет сертификатами качества ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001, ISO 27001, ISO 20000-1.

Сбор и предварительная сортировка РАО на обеих чешских АЭС происходят в местах образования в полиэтиленовые мешки и бочки. Перечисленные работы проводят работники АЭС, и их содержание не отличается от работ на российских АЭС. В зоне возможного загрязнения проводится измерение образовавшихся отходов с применением ручных приборов на основе пластических сцинтилляторов по общему количеству импульсов и по мощности дозы. По результатам первичной характеристики оформляются сопроводительные документы на каждую упаковку РАО, проводится их предварительная классификация и маркировка. Партии твердых отходов, подлежащие возможному освобождению от контроля, повторному использованию (рециклированию), перевозят автотранспортом на АЭС «Дукованы» и складировать в отдельном здании в чистой зоне на площадке АЭС. Считается экономически нецелесообразным содержание двойного комплекта дорогостоящего оборудования и высококвалифицированных специалистов на обеих АЭС. Повышению экономической эффективности процесса обращения с РАО также способствует обеспечение более полной загрузки оборудования и занятости работников.



Для характеристики отходов с целью возможного освобождения от контроля применяются два технических комплекса на основе полупроводниковых ОЧГ-детекторов:

MERLIN 1.03 – предназначен для гамма-спектрометрического измерения потенциально радиоактивных материалов перед их освобождением от регулирующего контроля. Спектрометрический тракт состоит из трех полупроводниковых ОЧГ и двух пластических сцинтилляционных детекторов (рис. 6.4.1); GAMS-04 – предназначен для определения нуклидного состава отходов, измерения удельной и общей активности радионуклидов, входящих в состав отходов, упакованных в бочки. Спектрометрический тракт состоит из трех полупроводниковых ОЧГ-детекторов (рис. 6.4.2).



*Рис. 6.4.1. Комплекс характеристики отходов MERLIN 1.03*



*Рис. 6.4.2. Комплекс характеристики отходов GAMS-04*

Результаты измерений фиксируются в информационной системе обращения с отходами АЭС «Дукованы».

Производительность комплексов и организация работ обеспечивают проведение измерений около 1000 т отходов в год. В год до 500 т твердых отходов, что составляет 50 % от общего объема образовавшихся на обеих станциях отходов, подлежат освобождению от контроля или повторному использованию. Они складываются в контейнеры объемом 5 м<sup>3</sup> и размещаются на временное хранение. Результаты измерений в виде протоколов направляются в органы санитарного надзора. Аналогично на принципах аутсорсинга характеристику РАО на территории Словакии (АЭС «Богунце» и АЭС «Моховце») обеспечивает территориальный филиал компании ENVINET a.s.

На текущий момент можно сделать вывод, что для эффективной работы на рынке услуг по обращению с РАО сохраняющей конкурентную способность атомной энергетике и успешной интеграции ОАО «Концерн «Росэнергоатом» в ЕГС РАО необходима реорганизация существующей системы обращения с РАО.

Являясь одним из основных компонентов ИС ПСО РАО, система характеристики также нуждается в серьезном переустройстве. Реформирование системы характеристики в ОАО «Концерн «Росэнергоатом» потребует немалых финансовых средств для формирования современного парка оборудования, подготовки квалифицированных кадров и методических материалов. Но только таким путем можно добиться снижения объемов образования РАО, безопасной и экономически оправданной переработки и захоронения РАО, рационального использования объемов хранилищ. Показатели классификации и критерии приемлемости РАО, основанные на результатах характеристики, становятся основными доводами, обеспечивающими аргументацию по финансовым вопросам во взаимодействии между субъектами ЕГС РАО в условиях рыночных отношений. По экспертным оценкам, внедрение системы характеристики РАО на АЭС позволит только на минимизации эксплуатационных РАО экономить ОАО «Концерн «Росэнергоатом» порядка 2 млрд руб. ежегодно.

Следует отметить, что создание таких комплексных информационных систем поддержки технологических процессов обращения с РАО требует привлечения спе-

циализированных организаций, обладающих компетенциями как в области создания информационных систем, так и в предметной области обращения с РАО, характеристики, АСУ ТП технологических установок и др.

Услуги по комплексным ИТ-решениям уже присутствуют на рынке. Одним из примеров предложений подобного рода являются предложения компании «НЕОЛАНТ» [13]. Опыт «НЕОЛАНТ» включает разработку локальных информаци-

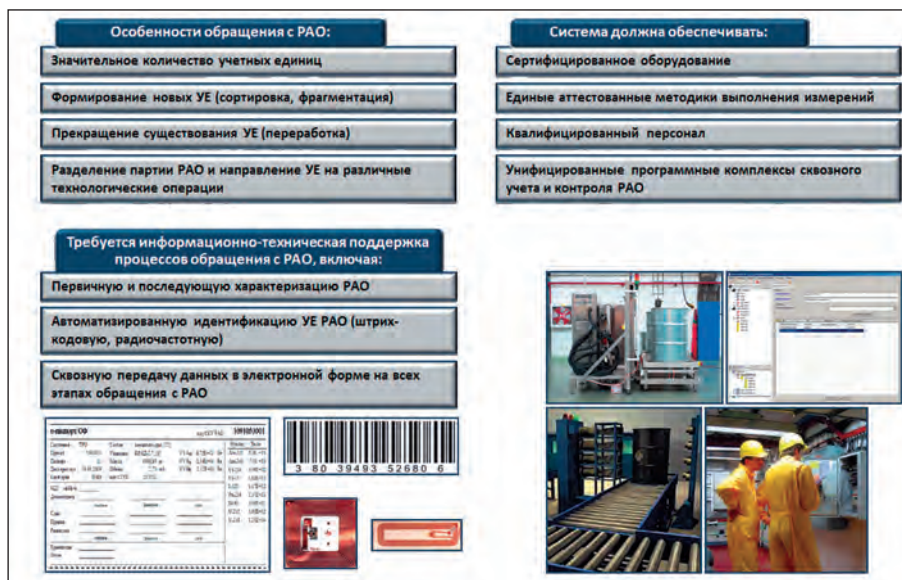


Рис. 6.4.3. Основные задачи информационной поддержки процессов обращения с РАО

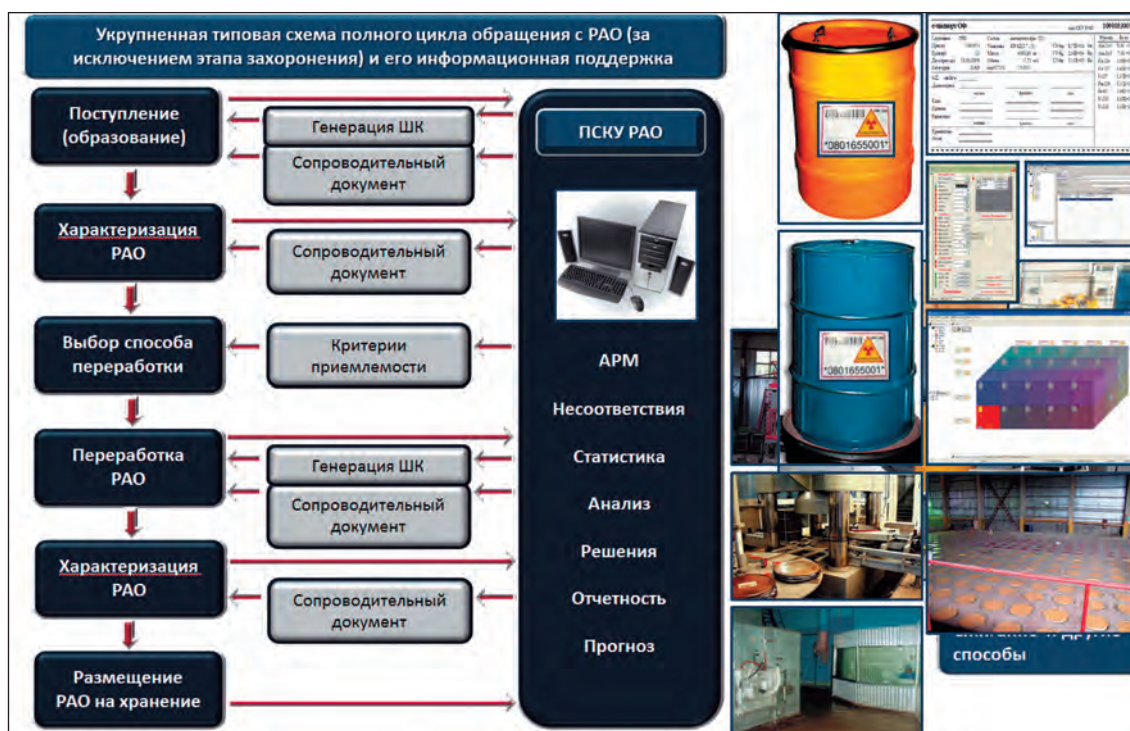


Рис. 6.4.4. Основные задачи информационной поддержки технологических процессов обращения с РАО

онных систем вывода из эксплуатации, вплоть до таких крупных объектов, как энергоблоки АЭС, разработку информационных систем обращения с РАО (рис. 6.4.3, 6.4.4), поставку комплексов характеризации РАО, выполнение проектно-конструкторских работ.

### **Заключение**

Краткий анализ возможностей развития рынка услуг в области обращения с РАО, включающий услуги по сбору, компактированию и переработке, кондиционированию и транспортировке РАО, проектированию, строительству и поставке оборудования, позволяет сделать следующий вывод: спрос по всему спектру услуг в области обращения с РАО в ближайшие годы будет быстро расти.

Для услуг в этой области будут характерны:

- изначально высокие требования, включая наличие соответствующих лицензий и сертификатов и программ обеспечения качества;
- высокая ответственность, в том числе финансовая, за конечный результат, в том числе за своевременную передачу РАО национальному оператору, соответствие критериям приемлемости и т. д.

В течение нескольких лет, явно необходимых для сертификации новой продукции и лицензирования деятельности, появится большое количество специализированных организаций, среди которых будет несколько крупных, обладающих всем перечнем технологий и решений, которые в последующем будут доминировать на рынке.

### **Литература**

1. Василенко В.А. с соавт. Обращение с радиоактивными отходами в Российской Федерации и странах с развитой энергетикой, СПб., 2005. ООО НИЦ «Моринтех».
2. Обращение с радиоактивными отходами : [Учеб. пособие] / С. А. Дмитриев, С. В. Стефановский ; Министерство образования РФ, Рос. хим.-технол. ун-т им. Д. И. Менделеева. — М. : ПХТУ, 2000.
3. Status of Technology for Volume Reduction and Treatment of Low and Intermediate Level Solid Radioactive Waste, Technical Reports Series No. 360, IAEA, Vienna (1994).
4. Advances in Technologies for the Treatment of Low and Intermediate Level Radioactive Liquid Wastes, Technical Reports Series No.370, IAEA, Vienna (1994).
5. Management of Radioactive Waste from the Use of Radionuclides in Medicine, IAEA-TECDOC-1183, Vienna (2000).
6. Management of Small Quantities of Radioactive Waste, IAEA-TECDOC-1041, Vienna (1998).
7. Handling and Processing of Radioactive Waste from Nuclear Applications, Technical Reports Series No. 402, IAEA, Vienna (2001).
8. Материалы технического семинара для специалистов Госкорпорации Росатом «Вывод из эксплуатации ЯРОО». NUKEM Technologies, Альценау, 2010 г.
9. Материалы технического семинара для специалистов Госкорпорации Росатом. «Использование комплексных решений при реализации проектов в области вывода из эксплуатации, обращения с ОЯТ и РАО». NUKEM Technologies, Альценау, 2011 г.
10. Роменков А.А., Туктаров М.А., Менькин Л.И., Пышкин В.П. Беспламенное сжигание РАО в расплаве солей // Безопасность окружающей среды. 2006. № 3. 44–47 с.
11. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности, 2007 г.
12. Application of corrective action for surface facilities for final disposal of radioactive waste: draft. — Vienna: IAEA, 2003 г.
13. Информационный сайт компании: [www.neolant.ru](http://www.neolant.ru)



## ГЛАВА 7

### Безопасность захоронения РАО

В завершение еще раз вернемся к вопросам методологии обоснования безопасности, несмотря на то, что эти вопросы уже кратко рассматривались в разделе 2 монографии. Проблеме обоснования безопасности объектов захоронения РАО в мировом масштабе около 60 лет [1]. За этот период времени были выработаны и успешно реализуются решения по приповерхностному захоронению НАО и короткоживущих САО; существует также международное согласие в отношении того, что долгоживущие САО, ВАО и, при необходимости, ОЯТ необходимо захоранивать в глубоких геологических формациях.

Российские позиции по завершающим стадиям ядерного топливного цикла уникальны. Долгие годы ядерный оружейный комплекс и атомная энергетическая промышленность страны развивались в режиме незавершенных циклов по РАО, ОЯТ и выводу из эксплуатации [2]. Тем не менее, научные исследования по этой теме проводились и на весьма высоком уровне. Единственной их особенностью являлось значимое отставание в части широты рассмотрения процедур и аспектов, считающихся обязательными для процедуры обоснования безопасности пунктов захоронения на всех этапах, включая выбор площадки, сооружение, эксплуатацию и закрытие. Зачастую безупречное расчетное обоснование считалось практическим доказательством безопасности. Мировые стандарты в этой области много сложнее, в связи с чем это отставание должно быть преодолено. Уникальность современной ситуации еще и в том, что в ней есть и много положительных моментов [3]:

- наличие в мире совершенных технологий и опыта, которые можно освоить;
- накопленные крупные стратегические, технологические и бизнес-ошибки, которые можно и нужно не повторять;
- наличие уникального полигона в виде «ядерного наследия», на котором могут быть отработаны многие технологические решения;
- солидная государственная поддержка работ по ликвидации «ядерного наследия».

Есть и усложняющие факторы, такие например, как необходимость доказательства безопасности обратным счетом, например, в отношении давно принятой и до настоящего времени реализуемой практики закачки ЖРО в пласты-коллекторы. Кроме указанных вопросов, в данной главе рассмотрим еще два, зачастую определяющих отношение к расчетной обоснованности безопасности объекта. Это точность задания параметров вмещающей геологической среды и учет того обстоятельства, что в прошлом иногда, но не часто, наблюдались ситуации, когда содержание примесей фиксировалось намного раньше и в намного больших количествах, чем это предсказывалось классическими расчетными кодами.

Проблемы в целом характерны не только для российской практики. За рубежом при наличии огромного количества планов и проведенных работ до настоящего времени также существуют серьезные трудности с объектами захоронения РАО в глубо-



ких геологических формациях, следствием которых становятся отдаленные сроки их планового ввода в эксплуатацию: Германия — 2014 г. (Конрад); Швеция — 2020 г.; Финляндия — 2020 г.; Франция — 2025 г.; Бельгия — после 2025 г.; Япония — 2035 г.; Испания — 2035 г.; Словакия — 2037 г.; Швейцария — 2040 г.; Великобритания — 2040 г.; Китай — после 2040 г.; Румыния — 2049 г.; Словения — 2066 г.; Нидерланды — после 2100 г.

### **7.1. Необходимость эволюции отечественных подходов к обоснованию безопасности пунктов захоронения РАО**

Несмотря на несовершенство либо даже отсутствие правовых механизмов и стимулов к практической деятельности по захоронению РАО, научная работа в этом направлении велась. Вплоть до конца 1990-х гг. наше понимание этой проблемы, в целом, соответствовало международным подходам.

В рамках этого понимания процесс обоснования безопасности пунктов захоронения РАО включает в себя следующие этапы.

1. Выбор участка для захоронения. Современный подход предполагает поиск нескольких потенциально пригодных участков, выбор из которых производится с учетом следующих соображений [5]:

- геологические условия, обеспечивающие долговременную безопасность захоронения и населения (с учетом вулканизма, денудации перекрывающих пород, сейсмичности, активных асейсмичных разломов, месторождений полезных ископаемых, вертикальных движений земной коры, температурного фона на глубине, тектонической активности, изменений климата);
- инженерно-геологические условия, обеспечивающие краткосрочную безопасность захоронения и персонала на время строительства и эксплуатации подземного сооружения;
- социально-экономические обстоятельства, не приводящие к неприемлемому росту стоимости проекта;
- окружающая среда в районе могильника, обладающая условиями, достаточными для самосохранения при повышенной техногенной нагрузке;
- терпимое отношение населения и общественных организаций к проекту захоронения в данном районе.

2. Прогноз процессов, связанных с локализацией отходов инженерными барьерами безопасности, то есть прогноз поведения радионуклидов в так называемом ближнем поле. В первую очередь, необходимо изучение влияния тепловыделения на физико-химические параметры матрицы, контейнера и буферного материала [6].

Прогноз миграции радиоактивных веществ необходимо выполнять с учетом фильтрационных, сорбционных, физико-химических, теплофизических, физико-механических свойств вмещающих горных пород, степени однородности состава и структуры, глубины залегания и размеров блока пригодных пород, водообильности среды [5].

3. Прогноз миграции радионуклидов в дальнем поле, то есть до биосферы. Необходимо прогнозировать примерно те же явления, но в иных пространственно-временных масштабах.

4. Наконец, прогноз воздействия радионуклидов на человека и объекты окружающей среды в целях доказательства соблюдения критериев безопасности для захоронения. В настоящее время к таковым относится только квота предела эффективной

дозы, равная в соответствии с ОСПОРБ–99/2010 (п. 3.12.19) 10 мкЗв/год для всех стадий обращения с РАО, включая хранение и захоронение.

Перечисленная последовательность действий обычно отражается в виде схем, демонстрирующих обобщенную структуру объекта захоронения и шаги по расчету радиационного воздействия (рис. 7.1.1, 7.1.2). Эти схемы принципиально друг от друга не отличаются, поскольку отражают один и тот же факт: «основой принятия решений о строительстве могильников ВАО являются результаты компьютерного моделирования процесса миграции радионуклидов» [7]. В настоящее время нормативно зафиксировано: «Технические решения и организационные мероприятия по обеспечению безопасности при захоронении РАО должны быть установлены и обоснованы в проекте ПЗРО (ПГЗ ЖРО) на основе прогнозного расчета для оценки безопасности системы захоронения РАО...» [8]. С практической точки зрения это означает, что подтверждением безопасности захоронения РАО является только «Отчет о воздействии на окружающую среду», прошедший экспертизу в составе проекта объекта захоронения [9].

Таким образом, современное состояние дел в отечественной методологии обоснования безопасности пунктов захоронения РАО можно охарактеризовать следующим образом:

- Основные результаты по методологии были получены в XX веке и полностью соответствовали подходам МАГАТЭ и других международных участников процесса на тот момент времени.
- Под анализом безопасности до сих пор подразумевается научно-техническая экспертиза, направленная на [5]:
  - установление геологических факторов, которые в итоге сформируются условия для недопустимого радиационного воздействия на населения;

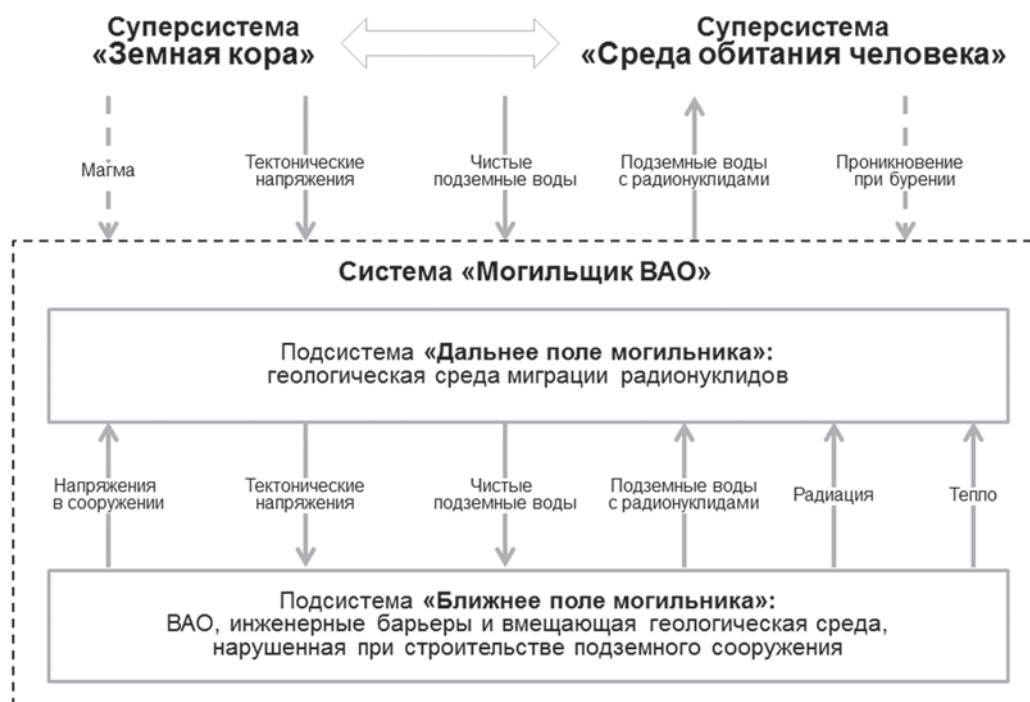


Рис. 7.1.1. Обобщенная модель системы захоронения [5]

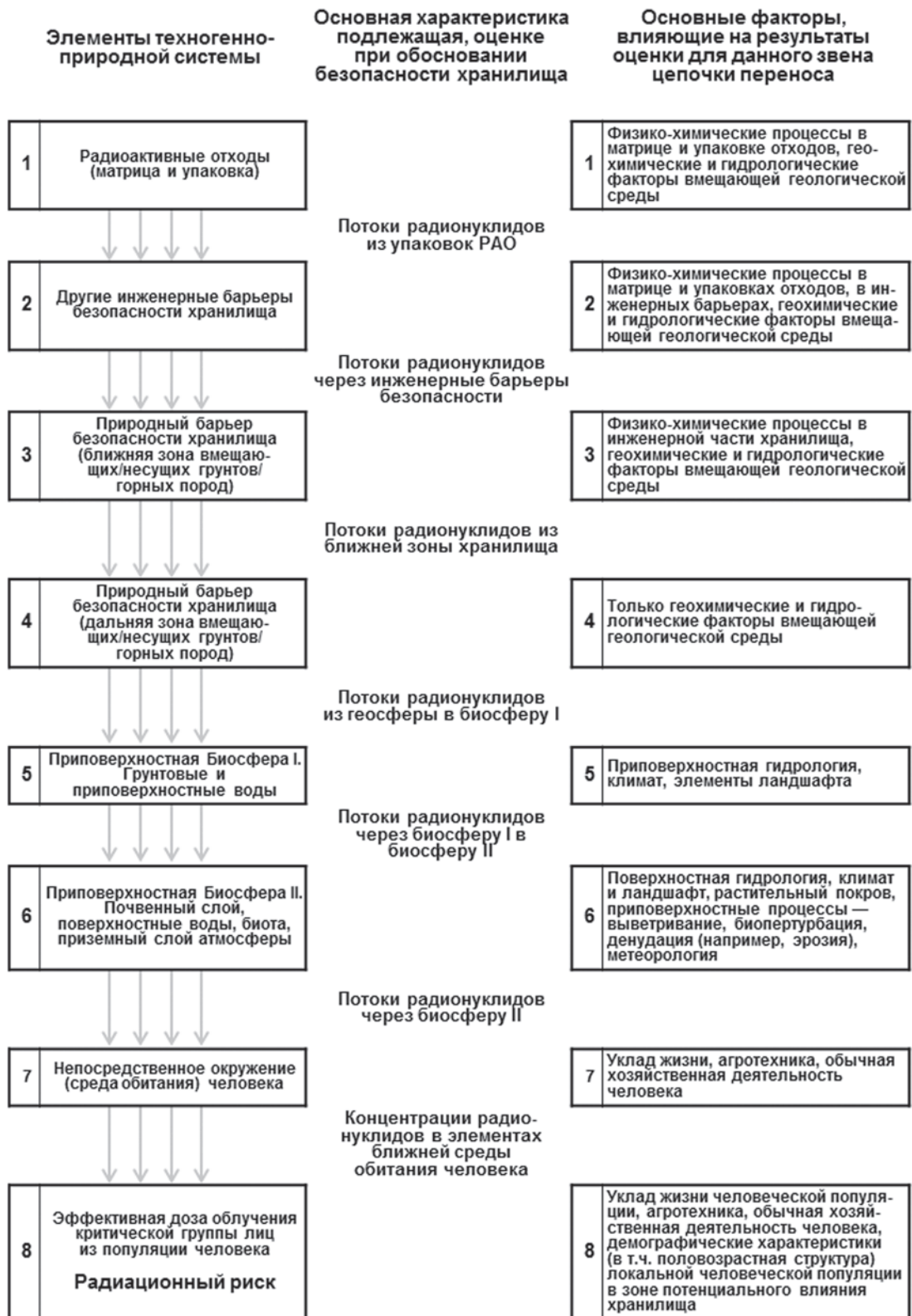


Рис. 7.1.2. Последовательность проведения расчетной оценки формирования дозовых нагрузок на население, живущее в зоне влияния захоронения РАО [10]

- прогноз поведения системы захоронения с учетом этих факторов (по сути, прогноз миграции радионуклидов) с выходом на дозы или риски.
- Достигнуто принципиальное согласие по поводу структуры обобщенной модели системы захоронения и геологических факторов.
- Проблема обоснования безопасности пунктов захоронения РАО в настоящее время рассматривается в основном как инженерно-геологическая.

Между тем, в середине 1990-х гг. зарубежное научное сообщество пришло к мысли, что для полной уверенности в долгосрочной безопасности объектов захоронения РАО в геологической среде требуется нечто большее, чем просто вычисления доз и рисков. Еще раз кратко рассмотрим эти подходы, в том числе с выходом за рамки требований МАГАТЭ.

В 1999 г. Агентством по ядерной энергии ОЭСР были разделены два понятия: помимо уже существовавшего на тот момент термина «safety assessment» («оценка безопасности») был введен [11] термин «safety case» («обоснование безопасности»).

Оценка безопасности — это процесс и результат систематического анализа и оценки опасностей, связанных с источниками и практической деятельностью, и соответствующих мер защиты и безопасности [12]. Оценка часто имеет целью количественное определение осуществляемых мер для сравнения с критериями. По сути, это определение практически идентично тому, что в России подразумевается под полным анализом безопасности, требуемым нормативными документами.

В свою очередь, обоснование о безопасности — набор аргументов и свидетельств в подтверждение безопасности установки или деятельности. Обычно это включает выводы оценки безопасности и подтверждение достоверности этих выводов. В случае пункта захоронения (хранилища) обоснование безопасности может проводиться для конкретной стадии разработки проекта. В таких случаях в обосновании безопасности следует подтверждать наличие любых нерешенных проблем и включать рекомендации в отношении работы по решению этих проблем на будущих стадиях разработки проекта [12].

Обоснование безопасности базируется не только на результатах количественного моделирования, но также максимально полным образом учитывает стратегию управления всем проектом для достижения главной цели — понять имеющиеся неопределенности и очертить круг нерешенных проблем, которые, как считается, присутствуют всегда. Обоснование безопасности как документ представляется оператором объекта на различных этапах реализации проекта для принятия управленческих решений. Ключевая функция обоснования безопасности — обеспечить платформу для дискуссий, в которых заинтересованные стороны могут выразить их уровень доверия проекту на данной стадии.

Считается, что такой непрерывный итерационный процесс рецензирования и разработки выльется в итоговый отчет о безопасности, согласованный всеми заинтересованными сторонами.

На текущий момент обоснование безопасности, как правило, покрывает эволюцию системы захоронения на протяжении одного миллиона лет, а в некоторых странах этот срок даже длиннее. Учитывая такие временные рамки, обоснование безопасности должно «косвенно, но в то же время убедительно продемонстрировать, что предложенная система захоронения обеспечивает достаточный уровень безопасности как для современного общества, так и для будущих поколений» [13]. Необходимо понимать, что возможности мониторинга и вмешательства будут со временем уменьшаться. Совокупность этих факторов ставит беспрецедентную задачу перед обоснованием



безопасности, перед регулирующим органом, перед обществом и вообще перед любыми другими заинтересованными сторонами.

Таким образом, можно констатировать, что обоснование безопасности, базируясь на оценке безопасности, содержит более широкие качественные аргументы, которые в совокупности и устанавливают основу для формирования доверия к объекту захоронения.

Более подробная информация о причинах смыслового разделения этих терминов приведена в материалах международного симпозиума по вопросам обоснования безопасности захоронения РАО [14] и кратко проанализирована в [15]. Материалы содержат описание реализованных в течение последних 20 лет крупных международных проектов, ключевые выводы и результаты которых сформировали современное представление о методологии обоснования безопасности пунктов захоронения РАО [16] и легли в основу соответствующих документов МАГАТЭ (глава 3).

Как уже отмечалось выше, в 2011 г. требования по безопасности захоронения РАО были зафиксированы в документе МАГАТЭ SSR 5 «Захоронение радиоактивных отходов». В этом документе обобщены и систематизированы требования по безопасности к каждому этапу создания пункта захоронения. Отметим, что отдельный большой раздел выделен под требования к подготовке, содержанию и документированию обоснования и оценки безопасности.

Обоснование безопасности должно готовиться и обновляться оператором на каждом этапе разработки и закрытия объекта, имея при этом нацеленность на конкретный этап и конкретную аудиторию. Соответствующий отчет должен так или иначе содержать все значимые аспекты, характеризующие площадку, конструкции, системы управления и регулирующего контроля, оценки поведения геологической системы и доказательства того, что все требования по безопасности будут соблюдены, а сама система радиационной безопасности оптимизирована. Материал должен быть изложен таким образом, чтобы у любого независимого эксперта была возможность повторить весь анализ. С учетом изложенного отечественный подход к обоснованию безопасности объектов захоронения РАО должен быть существенно пересмотрен. К этому выводу подталкивают и практические обстоятельства — формально считавшиеся пройденными или преодолемыми первые шаги, связанные с выбором площадки, стали предметом дискуссий общественности и колебаний местных органов власти.

Опираясь на требования международных организаций (МАГАТЭ, АЯЭ ОЭСР), которые несмотря на то, что изложены довольно четко, предполагают все же значительный уровень вариативности, организации-операторы выстраивают свои методологические схемы обоснования безопасности.

В 2005 г. французский оператор ANDRA представил «Dossier-2005» — обоснование безопасности пункта геологического захоронения РАО в районе Мез/Верхняя Марна (Meuse/Haute\_Marne) [17]. Обоснование представляет собой набор документов, объединенных в иерархически организованную пятиуровневую структуру.

Первый уровень — три обзорных документа, каждый из которых адресован соответствующей аудитории: короткий (4 стр.) проспект для общественности, брошюра (38 стр.) для заинтересованных неспециалистов и, наконец, сводный отчет (200 стр.) для лиц, ответственных за принятие управленческих решений. В качестве примера документ верхнего уровня приведен в приложении 2.

Второй уровень — так называемые сквозные обобщенные отчеты, которые призваны сформировать тот базис, аппарат безопасности, о котором речь шла выше. Это

документы (500–700 стр.) по темам: конструкция и управление, феноменология, оценка безопасности.

Третий уровень — 5 тематических сборников объемом от 500 до 1000 стр., содержание которых еще более раскрывает суть проблемы. Тематика: первичные упаковки долгоживущих ВАО, геологическая среда, поведение упаковок, поведение радионуклидов и используемые при захоронении материалы.

Наконец, привычная в нашем понимании оценка безопасности — это 4 уровень (72 технических документа от 10 до 100 стр.). К этому уровню относится так называемый феноменологический анализ ситуаций, которые могут соответствовать нормальному развитию событий в пространстве и времени. Соответствующая матрица содержит порядка ста различных сценариев, каждый из которых был рассчитан.

Пятый уровень — это статьи в журналах и другие материалы по наиболее тонким вопросам.

Интересно, что при проведении расчетов ANDRA старается минимальным образом использовать коды собственной разработки, предпочитая им максимально полный набор существующих программных продуктов. Французский подход заключается в разработке специальной вычислительной платформы, которая интегрирует эти коды.

Наконец, вся эта многоуровневая иерархия документов и вычислительных технологий собрана в конечном итоге в то, что называется базой знаний.

Аналогичный подход использует шведский оператор SKB. В марте 2011 г. в регулирующий орган была подана заявка на лицензию для объекта захоронения ОЯТ в Форшмарке, которая включает 129 опять же иерархическим образом выстроенных документов [18]. В документе наиболее высокого уровня приведена общая методология работ [19], которая значительно шире, нежели просто оценка безопасности на основе рассмотрения сценариев и вычисления доз или рисков.

## 7.2. Расчетные методы обоснования безопасности

Необходимость в развитии научных основ для моделирования миграции радионуклидов в подземной гидросфере осознана в ведущих европейских странах и в США. Актуальность темы объясняется назревшей потребностью в решении вопросов безопасного обращения с накопленными и вновь образующимися РАО и ОЯТ.

В условиях активного формирования новой системы обращения с РАО в России развитие перспективных реакторных технологий должно вестись в тесной связи с разработкой дальнейших планов по переработке ОЯТ и захоронению РАО. Оптимизация ЯТЦ в разрезе образования РАО неизбежно приведет к сравнительной оценке по этому критерию различных топливных циклов, дополнительным требованиям в части темпов развития «тепловых» реакторов, параметров работы «быстрых реакторов» (например, по дожиганию минорных актинидов), технологий переработки ОЯТ. Помимо этого существуют и прямые задачи, вытекающие из необходимости соответствия требованиям новой национальной системы обращения с РАО: уточнение существующих мощностей по обращению с РАО, обоснование критериев приемлемости РАО для захоронения, включая определение требований к образующимся РАО, определение тарифной политики и т. д.

Ключевым вопросом в системах обращения с РАО и ОЯТ является обеспечение их безопасного хранения и захоронения уже на этапах сравнительного анализа площадок [19] окончательного выбора [18, 20]. Поскольку подземное хранение и захоро-

нение РАО рассматривается как наиболее надежный способ изоляции, возникает необходимость оценок параметров безопасности и прогноза распространения радионуклидов из создаваемых или существующих хранилищ. Такие оценки и прогнозы в силу большого времени жизни радионуклидов и очень низкой скорости протекающих физических процессов могут быть получены только путем математического и численного моделирования.

### *7.2.1. Корректный учет параметров вмещающей среды*

Геологические захоронения РАО основаны на принципе многобарьерной защиты. Каждый из барьеров осуществляет свои функции, обеспечивающие изоляцию и удержание радионуклидов. Барьеры можно разделить на инженерные и природные.

Инженерные барьеры обычно включают саму твердую матрицу, содержащую отходы, контейнер, различные дополнительные упаковки, буферную и заполняющую пустоты засыпку, иные элементы конструкции захоронения. Природным барьером является геологическая среда.

При построении моделей миграции радионуклидов из захоронений РАО обычно выделяют две области моделирования: «ближнюю зону» и «дальнюю зону», для каждой из которых определяются существенные физические и химические процессы. Модели ближней зоны описывают процессы, происходящие в инженерных барьерах, и обычно служат для характеристики источника загрязнения в модели дальней зоны. Модель дальней зоны описывает перенос радионуклидов в геологической среде.

Ближнее поле имеет решающее значение на начальном этапе существования захоронения — первые несколько тысяч лет, в то время, когда отходы наиболее радиационно опасны. Многие из барьеров ближнего поля по истечении этого времени теряют свои защитные свойства. Для дальней зоны характерен большой временной масштаб процессов. Расчеты миграции радионуклидов в дальней зоне обычно проводятся на срок порядка сотен тысяч — миллиона лет [20, 21]. Это имеет под собой следующие основания: с одной стороны, возраст геологических формаций, в которых располагаются захоронения, на порядки превосходит это значение, поэтому можно рассчитывать на их стабильность на таком промежутке времени; с другой стороны, радиоактивность захороненных РАО или ОЯТ через миллион лет не будет превосходить радиоактивности исходной урановой руды [4].

Процессы, существенные для ближнего поля, связаны с материалами, используемыми в инженерных барьерах. Так, для инженерных барьеров характерны выщелачивание радионуклидов из твердых матриц, коррозия металлов, деградация бетонных конструкций, образование трещин и зон высокой проницаемости, газообразование вследствие коррозии, тепловыделение и связанные с ним процессы. Защитные функции барьеров ближнего поля можно представить следующим образом [19]:

- Контейнер:
  - обеспечение коррозионной стойкости;
  - механическая прочность — стойкость к всесторонним нагрузкам и к сдвиговым напряжениям.
- Буферная зона:
  - ограничение адвективного переноса;
  - задержка коллоидов;
  - минимизация влияния деятельности микроорганизмов;

- демпфирование сдвиговых деформаций вмещающей породы;
- отвод тепла;
- надежная фиксация контейнера;
- ограничение давления на контейнер и окружающую породу.

Для модели дальнего поля основными значимыми процессами являются адвекция (перенос веществ в потоке грунтовых вод), диффузия и сорбция. Традиционно модели долгосрочного распространения загрязнений в дальней зоне предусматривают решение двух задач [22], возможно, связанных между собой: нахождение фильтрационных потоков и моделирование процесса миграции. Обычно фильтрационные потоки считаются подчиняющимися закону Дарси [23, 24]. В зависимости от задач может потребоваться учет плотностной и тепловой конвекции. Например, эти эффекты существенны для полигонов подземной закачки ЖРО, в том числе среднеактивных, для которых характерны высокие температуры и содержание солей в растворах. Если течение проходит в ненасыщенных условиях, должны применяться либо модели двухфазного течения «вода — воздух» [23], либо упрощенные модели насыщенно-ненасыщенного течения на основе уравнения Ричардса [25].

Распространение примеси в грунтовых водах обычно описывается нестационарным уравнением адвекции-диффузии в пористой среде с дополнительными членами, отвечающими за химическое взаимодействие и радиоактивный распад [22]. Последние исследования [26] показывают, что использование простейших моделей сорбции (например, равновесной сорбции с фиксированным коэффициентом распределения) способно привести к существенным ошибкам прогноза миграции радионуклидов. Для корректного описания процесса сорбции требуется прямой расчет нескольких десятков химических реакций. В некоторых случаях необходимо учитывать коллоидный перенос, который может существенно ускорять миграцию радионуклидов [27]. Геомеханические и термические процессы также могут быть учтены в моделях дальней зоны.

Существующие на сегодняшний день проекты глубинных захоронений долгоживущих РАО и ОЯТ предполагают использование одного из следующих трех типов вмещающих геологических формаций: кристаллических пород (гранита), глинистых отложений или эвапоритов (соли). Граниты и глины обычно обводнены, в то время как соляные формации — сухие. Тем не менее, доказывається, что и в каждой из обводненных сред в отсутствие аномалий (различного рода неоднородностей, трещин) перенос идет крайне медленно. Для солевых формаций опасность может представлять растворение, связанное с изменением внешних условий, и при оценке их применимости требуется прогноз возможности такого явления.

Роли ближней и дальней зон в обеспечении безопасности захоронения могут соотноситься по-разному. К примеру, для проектируемого захоронения ОЯТ в Швеции (Форшмарк) в обводненном гранитном массиве большая роль отводится созданию контейнера, способного существовать не менее миллиона лет. Это связано с тем, что в гранитных массивах возможно наличие трещин с достаточно высокой гидравлической проводимостью. Для проектируемого захоронения во Франции (Мез/Верхняя Марна) контейнеру уделяется меньше внимания, в большей степени изучаются процессы в геологической среде, способные ускорить миграцию радионуклидов, поскольку захоронение будет располагаться в слое очень слабопроницаемых глин.

Обычно на практике применяются разные коды для расчета миграции в ближней и дальней зонах, что обусловлено учетом в них различных физических и химических процессов. Результаты расчетов кодов для ближней зоны служат для определения ха-



рактических характеристик источника загрязнения (его интенсивности во времени, радионуклидного состава) в кодах для расчета миграции в дальней зоне. Для ближней зоны наиболее адекватными на сегодняшний день представляются камерные модели, представляющие всю ближнюю зону как совокупность связанных камер, каждая из которых отвечает за соответствующий элемент системы (матрица с отходами, контейнер, бентонитовый буфер и т. д.). В каждой камере задаются параметры, определяющие в конечном итоге изменение концентрации радионуклидов (толщина слоя, коэффициент распределения, скорость фильтрационного потока, коэффициент диффузии и др.). Камерные модели реализованы в расчетных кодах Mascot, Amber, Ecolego. Существуют и попытки прямого расчета процессов в ближней зоне, например [22].

Для дальней зоны, особенно в условиях недостатка исходных данных, также могут быть использованы камерные модели. Однако на сегодняшний день все большее распространение получают трехмерные модели, позволяющие учитывать реальное геологическое строение области захоронения. Использование трехмерных расчетных моделей, кросс-верификация результатов различных вычислительных средств являются неотъемлемой частью обоснования безопасности проектируемых захоронений [20, 21]. Существуют два принципиально разных подхода к представлению проводящей среды в моделях: как однородная пористая среда с осредненными характеристиками (рис. 7.2.1) и как дискретная система трещин (рис. 7.2.2).

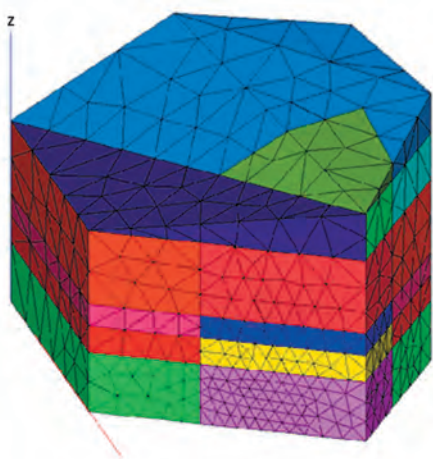


Рис. 7.2.1. Дискретизация расчетной области для модели однородной пористой среды

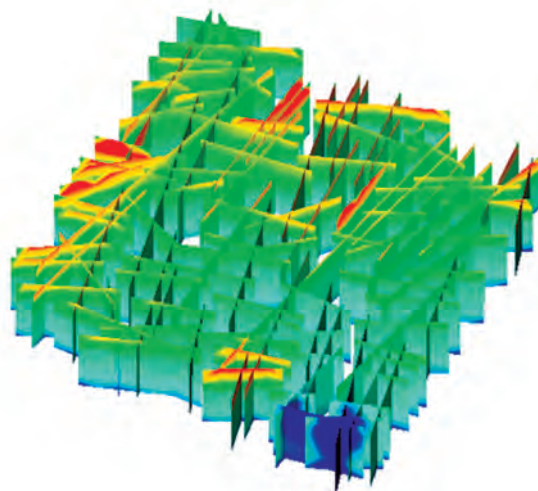


Рис. 7.2.2. Пример дискретной системы трещин (Discrete Fracture Network)

Первый подход позволяет корректно описывать процессы в сыпучих и пластичных геологических формациях (глины, пески). Второй подход применяется для решения задач миграции радионуклидов в кристаллических трещиноватых породах, например, гранитных или карбонатных массивах. В этом случае требуется либо переход от дискретной системы трещин к модели однородной пористой среды с помощью методов осреднения (ремасштабирования) [28], либо прямое решение задач фильтрации и переноса по трещинам, пока не получившее широкого распространения. Чтобы корректно учесть наличие слабопроницаемой твердой матрицы и трещин с низким гидравлическим сопротивлением, оставаясь при этом в рамках представления среды как однородной, используются модели двойной пористости и двойной проницаемости [25]. При разработке современных расчетных комплексов для моде-

лирования миграции в дальней зоне целесообразно ориентироваться на следующую модульную структуру:

1. Модуль интерфейсов с геоинформационными системами: данные о границе области, источниках/стоках, краевых условиях, коэффициентах.
2. Модуль подготовки расчетных сеток. Предполагает возможности автоматического построения сеток в областях с заданными границами. Поддержка сеток с разными типами ячеек (гексаэдры, тетраэдры, пирамиды, призмы).
3. Расчетный модуль, осуществляющий выбор шага по времени, формирование и решение нелинейных систем уравнений на каждом шаге. Состоит из следующих блоков:
  - 3.1. Модуль дискретизации по времени, управляющий формированием и решением нелинейных систем уравнений на каждом временном шаге. Для дискретизации по времени может использоваться либо полностью неявная схема, либо схема расщепления по физическим процессам.
  - 3.2. Модуль дискретизации фильтрационных уравнений. Насыщенно-ненасыщенная фильтрация с учетом плотностных эффектов, двойной пористости и двойной проницаемости. Для учета плотностных эффектов предусмотрена связь модулей фильтрации с модулями массо- и теплопереноса. Течение описывается законом Дарси для одно- или двухфазных (вода — газ) течений. Дискретизация по пространству должна обеспечивать локальную консервативность на ячейках, непрерывность потоков на границах ячеек сетки, а также точность не ниже второго порядка. Возможно использование методов конечных объемов, смешанных конечных элементов, разрывных методов Галеркина (Discontinuous Galerkin).
  - 3.3. Модуль дискретизации уравнений адвективно-диффузионного переноса с учетом сорбции и распада:
    - однокомпонентный перенос с учетом дисперсии, распада и химических взаимодействий в системе «вода — порода»;
    - многокомпонентный перенос с учетом дисперсии, сорбции, распада и образования цепочек;
    - многокомпонентный перенос с учетом химических реакций с породой, осаждения и растворения.
 Дискретизация должна обеспечивать локальную консервативность на ячейках, обладать низкой численной диффузией, точностью не ниже второго порядка.  
 Для оператора диффузии используются те же методы, что и в модуле фильтрации.
  - 3.4. Модуль дискретизации уравнений конвективно-дисперсионного теплопереноса. Для дискретизации применяются методы, аналогичные модулю адвективно-диффузионного переноса.
  - 3.5. Модуль решения нелинейной системы уравнений. Используется неточный метод Ньютона, на каждом шаге которого линейная система решается приближенно итерационными методами.
  - 3.6. Модуль решения линейных систем уравнений. Итерационные методы на подпространствах Крылова: предобусловленный метод сопряженных градиентов (PCG) и стабилизированный метод бисопряженных градиентов (BiCGstab). Многосеточные методы и современные методы неполной факторизации для переобуславливания.

4. Модуль постобработки и визуализации результатов расчетов. Построение графиков и карт с результатами расчетов, траекториями, линиями тока.
5. Модуль оценки чувствительности и калибровки модели на основе методов оптимизации.

Принципиально можно выделить три основные части программного комплекса: подготовка исходных данных, вычисления и анализ результатов, в том числе их достоверности. Результатами расчетов должен стать прогноз концентрации радионуклидов в грунтовых водах, которая затем используется при расчете дозовых нагрузок и рисков.

### 7.2.2. Неклассические процессы переноса примеси в геологических средах

Классические модели переноса, включая модель однородной пористой среды и модель двухпористой среды, базируются на представлении о статистически однородной среде, которую можно описывать осредненными характеристиками. Такое представление о среде является оправданным на масштабах много больше корреляционной длины, свойственной этой среде. Отсюда следует, что необходимое условие применимости классических моделей переноса состоит в том, чтобы зависящий от времени размер области локализации примеси (в дальнейшем — облака примеси) был велик в сравнении с корреляционной длиной

$$R(t) \gg \xi \quad (1)$$

Это неравенство легко выполняется, например, в песках, где размер пор или песчинок, играющих роль корреляционной длины, заведомо мал в сравнении с представляющей практический интерес длиной миграции примеси. Наоборот, для трещиноватых скальных пород условие (1) во многих случаях может нарушаться. Обширный массив данных наблюдений, накопленный в последние десятилетия, свидетельствует о том, что и в самом деле процессы переноса примеси в геологических структурах часто не описываются классическими закономерностями [29]. Расхождение может составлять многие порядки. Этим обусловлена необходимость разработки неклассических моделей переноса.

С точки зрения теоретических подходов, исследования по данному направлению можно условно разделить на два типа. Первый базируется на сугубо математических постановках задач без привязки к физическим механизмам переноса. К ним относятся модель «непрерывных во времени случайных блужданий» («continuous time random walks», СТРВ) [30, 31], исходящая из распределения вероятностей времени ожидания между двумя последовательными прыжками частицы примеси, а также модель дробной диффузии [32, 35], основанная на уравнениях с дробными производными. В рамках таких подходов был достигнут ряд интересных результатов, однако некоторые из них, будучи полученными в отрыве от физической картины процессов, например, степенные асимптотики концентрации примеси на далеких расстояниях («тяжелые степенные хвосты»), в настоящее время представляются спорными. Подходы второго типа, с нашей точки зрения, более адекватно отражающие действительность, состоят в разработке моделей, которые учитывают особенности структуры реальных геологических сред на основе конкретных физических механизмов. Такие модели исследовались в работах [36–39]. Обсудим далее на качественном уровне, каким образом структурные особенности геологических сред могут приводить к неклассическим режимам переноса примеси.

Анализ результатов полевых наблюдений [39] (см. также [41–43]) приводит к заключению, что одним из главных факторов, определяющих просачивание влаги и перенос примеси в геологических средах, является сложная неоднородная структура естественных сеток трещин, которые проявляют фрактальные свойства [44] и подпадают под категорию перколяционных сред [45, 46]. Характеристики таких сред определяются свойствами связности их структурных элементов (в случае геологических сред ими являются трещины, частично или полностью заполненные влагой). Такие элементы объединяются в кластеры, внутри которых протекание влаги и перенос примеси являются эффективными, в то время как между различными кластерами эти процессы сильно затруднены. Из наиболее существенных характерных особенностей перколяционных сред выделим две [29].

Первая состоит в наличии перколяционного порога. В состоянии ниже порога существуют только конечные кластеры, и стационарные процессы протекания влаги в бесконечной среде происходить не могут. В среде, находящейся выше порога перколяции, имеется бесконечный кластер, и тогда ограничение на пространственный масштаб для процессов протекания влаги и переноса примеси исчезает, то есть протекание влаги в бесконечной среде возможно.

Второй особенностью перколяционных сред является корреляционная длина  $\xi$ . Ниже перколяционного порога, размеры кластеров  $l$  сосредоточены в интервале  $l < \xi$  (концентрация кластеров с размерами  $l \gg \xi$  экспоненциально мала). В этом случае отдельный кластер в интервале масштабов от некоторого нижнего граничного значения  $a$  до его размера  $l$  обладает фрактальными свойствами [53]. Это, в свою очередь, означает, что кластер, как геометрический объект, имеет не целую, а дробную пространственную размерность. При стремлении к перколяционному порогу корреляционная длина стремится к бесконечности,  $\xi \rightarrow \infty$ , и при достижении порога в среде возникает бесконечный кластер. Выше перколяционного порога параметр  $\xi$  снова становится конечным. Здесь среда оказывается фрактальной на масштабах  $a < l < \xi$ , а при  $l \gg \xi$  становится статистически однородной.

В интервале длин  $a \ll r \ll \xi$  отсутствует пространственный масштаб, характеризующий поведение системы трещин. Такое положение дает возможность при описании процессов инфильтрации влаги и переноса примеси воспользоваться представлениями теории критических явлений [56, 57], считая указанные процессы в интервале длин  $a \ll r \ll \xi$  масштабно инвариантными. Другими словами, макроскопические уравнения переноса можно считать инвариантными по отношению к пространственным преобразованиям:

$$\vec{r} \rightarrow s\vec{r} \tag{2}$$

При этом сами величины, характеризующие процессы переноса (такие как скорость просачивания, плотность потока примеси, концентрация и т. д.) преобразуются согласно соотношению:

$$A \rightarrow s^{-\Delta_A} A \tag{3}$$

в котором показатель  $\Delta_A$  называется масштабной размерностью величины  $A$ . Некоторые соотношения между масштабными размерностями получаются из законов сохранения и макроскопических уравнений. В то же время определение всех размерностей требует проведения более глубокого анализа.



Сам факт наличия масштабных размерностей существенно упрощает установление закономерностей, связывающих характеристики процессов фильтрации и переноса. При этом функциональные зависимости от одной переменной оказываются степенными функциями, а от двух и более переменных сводятся к произведению степенной функции на безразмерную функцию от одной или более автомодельных переменных, которые являются масштабно инвариантными комбинациями исходных переменных. Примером закономерностей первого типа является зависимость размера облака примеси от времени:

$$R(t) \propto t^\gamma \quad (4)$$

При  $\gamma = 1/2$  мы имеем дело с классической диффузией, которая реализуется в статистически однородных системах при  $R(t) \gg \xi$ . Аномальные режимы переноса с  $\gamma > 1/2$  (супердиффузия) and  $\gamma < 1/2$  (субдиффузия) могут иметь место во фрактальных средах при  $R(t) \ll \xi$ .

Основным механизмом переноса примеси в трещиноватых скальных породах является адвекция, обусловленная просачиванием влаги. Перколяционные системы трещин являются сильно неупорядоченными. Поэтому адвекционный перенос по системе трещин носит случайный характер. Вследствие фрактальной природы перколяционных кластеров, корреляции скорости адвекции являются дальнедействующими и на больших расстояниях убывают по степенным законам. В силу этого обстоятельства и благодаря тому, что адвекция является самым быстрым механизмом переноса, возникают предпосылки для супердиффузионного режима переноса примеси, которому отвечает значение  $\gamma > 1/2$  (4).

Другой существенный для формирования механизмов переноса примеси аспект возникает из свойства резкого контраста в распределении характеристик геологической среды, вызванного присутствием слабо проницаемой матрицы (породы). Для переноса по трещинам, содержащим влагу, матрица играет роль ловушек, приводящих к замедлению процессов переноса. Вместе с тем, сам перколяционный кластер имеет сложную топологическую структуру. Он состоит из остова («backbone» в англоязычной литературе) и системы мертвых концов («dead ends»). Остов соединяет удаленные части кластера. В то же время каждый из мертвых концов соединен с остовом только в одной точке. При этом мертвые концы остаются изолированными как друг от друга, так и от других участков остова. Это означает, что по отношению к процессам просачивания влаги и переноса примеси мертвые концы, так же как и матрица, играют роль ловушек или стоков. Важно заметить, что фрактальная размерность системы мертвых концов, а также матрицы больше, чем размерность остова перколяционного кластера. Таким образом, мертвые концы вместе с матрицей можно рассматривать как слабо проницаемую подсистему трещиноватой геологической среды по сравнению с остовом кластера трещин, представляющего собой сильно проницаемую подсистему.

Ввиду наличия двух контрастирующих подсистем (сильно и слабо проницаемых) все частицы примеси можно разделить на две группы: «активные частицы», находящиеся в сильно проницаемой подсистеме, и «пассивные частицы», относящиеся к слабо проницаемой подсистеме. Наибольший интерес представляют активные частицы — ввиду своей высокой подвижности. Присутствие слабо проницаемой подсистемы приводит к двум следствиям. Первое это то, что полное число активных частиц убывает со временем в связи с тем, что некоторые из них уходят в ловушки. Второе следствие состоит в замедлении процесса переноса примеси, способном привести к

режиму субдиффузии с  $\gamma < 1/2$  в (4). Приведенные выше соображения позволяют записать концентрацию активных частиц в форме:

$$c(\vec{r}, t) = \frac{N(t)}{R^3(t)} \Phi(\zeta), \quad \zeta = \frac{r}{R(t)} \quad (5)$$

Здесь  $N(t)$  — полное число активных частиц,  $R(t)$ , как и ранее, — размер облака примеси в зависимости от времени,  $\zeta$  — автомодельная переменная. Вид зависимостей  $N(t)$  и  $R(t)$  и определяет режим переноса примеси. С течением времени режимы переноса могут сменять друг друга, вследствие включения или отключения отдельных элементов механизма переноса (например, ловушек). Поэтому форма функций, присутствующих в соотношении (5), является спецификой интервала времени, определяемого действием соответствующего этому интервалу режима переноса.

Важнейшей характеристикой распределения концентрации примеси, особенно для проблемы захоронения радиоактивных отходов, является асимптотическое поведение концентрации на далеких расстояниях (при  $\zeta \gg 1$  в (5)) — «концентрационные хвосты». Для практики имеет исключительное значение, являются ли хвосты степенными или экспоненциальными, поскольку различие в концентрации между этими двумя видами асимптотик может составлять многие порядки величины. Во всех известных нам физических моделях структура асимптотик концентрации носит экспоненциальный характер. На рис. 7.2.3 изображено асимптотическое поведение концентрации в режиме супердиффузии (супердиффузионный, «короткий», хвост), полученное на основе физической модели случайной адвекции [47, 49], и в режиме классической диффузии (Гауссиана). Для сравнения показан также «тяжелый» степенной хвост, получающийся в формальной математической модели дробной диффузии.

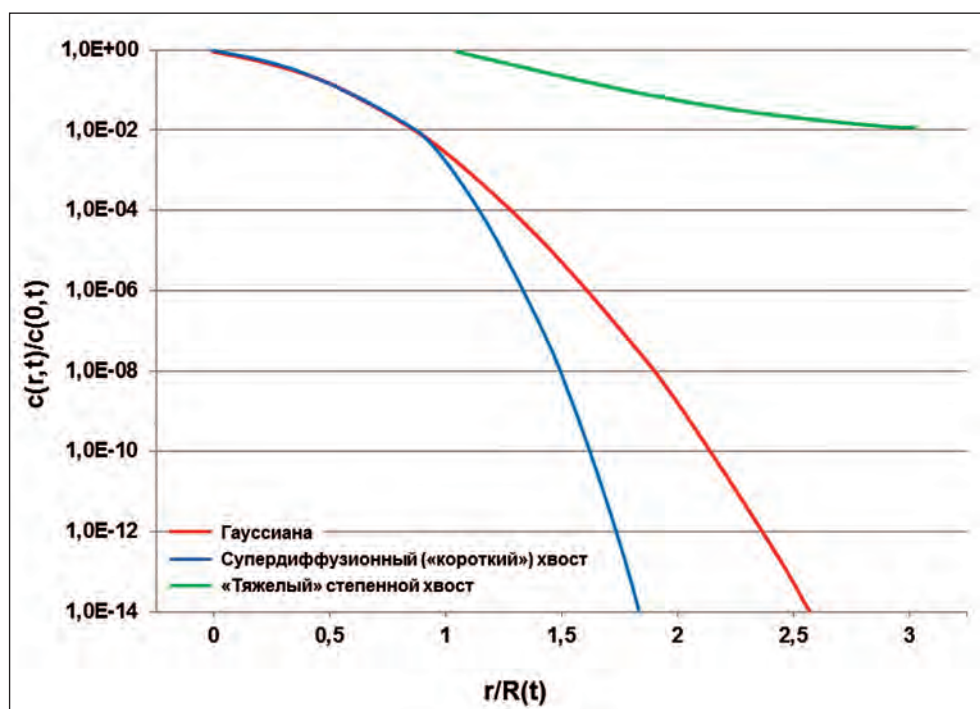


Рис. 7.2.3. Асимптотические профили концентрации (концентрационные хвосты) в режимах классической диффузии и супердиффузии

### 7.2.3. Современное состояние и рекомендации по развитию методов обоснования безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов

25–26 мая 2011 г. состоялся межотраслевой семинар «Обоснование безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов на базе современных моделей переноса радионуклидов в геологических формациях и инженерных барьерах» (ИБРАЭ РАН, Москва). В работе семинара приняли участие специалисты следующих организаций: Госкорпорация «Росатом», ФГУП «РосРАО», ФБУ «НТЦ ЯРБ», ОАО «ВНИПИПТ», ОАО «ВНИПИЭТ», ФГУП «ГХК», ОАО «СХК», ФГУП «ПО «Маяк», РФЯЦ — ВНИИЭФ, ОАО «ГНЦ — НИИАР», ОАО «НИКИЭТ», НИЦ «Курчатовский институт», ОАО «Атомэнергoproject», ИБРАЭ РАН, ИВМ РАН, ИГЭ РАН, ИГЕМ РАН, ИФХЭ РАН, МИФИ, МГУ, ТПУ, ФГУГП «Гидроспецгеология», ГУП «МосНПО «Радон», ОАО «РЭСцентр».

По результатам, представленным в докладах семинара и дискуссионных обсуждений, текущую ситуацию в области обоснования безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов в России можно охарактеризовать следующим образом:

- В рамках федеральных целевых программ и инвестиционной программы национального оператора предусмотрено большое количество работ по проектированию и сооружению пунктов захоронения РАО различного уровня удельной активности, созданию пунктов консервации особых (неудаляемых) РАО, выводу из эксплуатации широкой номенклатуры ЯРОО, в том числе и по варианту «захоронение на месте». Успешное выполнение этих работ предполагает в качестве обязательного условия проведение комплексного обоснования безопасности, включая вопросы анализа геомиграции, которая является основным типом распространения долгоживущих радионуклидов.
- Большинство отечественных работ по оценке и обоснованию безопасности опирается на представления, сложившиеся в 1990-е гг. Зарубежный опыт и рекомендации международных организаций, таких как МАГАТЭ, не всегда находят практическое применение, что затрудняет взаимопонимание на международном уровне и не способствует повышению доверия к результатам, полученным отечественными специалистами. Особенно это касается ВАО и других отходов, содержащих долгоживущие радионуклиды, безопасное удаление которых стало актуальным к настоящему времени.
- Национальная нормативно-правовая база в части требований к обоснованности безопасности пунктов захоронения РАО не в полной мере соответствует современным международным подходам и стандартам.
- Имеется опыт решения практических задач обоснования безопасности уникальных объектов, имеющих разветвленную систему мониторинга (например, промышленные водоемы ФГУП «ПО «Маяк», полигоны закачки ЖРО ОАО «СХК», ФГУП «ГХК» и ОАО «ГНЦ—НИИАР»), который базируется, в основном, на моделировании фильтрации и переноса радионуклидов в подземной гидросфере. При этом используются зарубежные программные средства (главным образом Modflow, MT3DMS), а также программы собственной разработки, из которых только один код является аттестованным (GEON-3D, разработчик — ФГУГП «Гидроспецгеология»).
- В каждой профильной организации по данной тематике в активном режиме работает в среднем от 2 до 5 специалистов, в то время как объем задач требует существенного укрепления кадрового потенциала.

- Отсутствует доступная верификационная база для проверки кодов и определения параметров моделей.
- В большинстве случаев существующие системы объектного контроля и мониторинга не опираются на геофильтрационные и геомиграционные модели, что резко снижает информативность результатов мониторинга, делая их зачастую трудно интерпретируемыми.

Анализ мировых тенденций говорит о том, что оценка безопасности захоронений предполагает использование современной методологической базы, ориентированной на всестороннее обоснование безопасности и убеждение в этом всех заинтересованных сторон, а также обновленного набора трехмерных расчетных моделей и кодов высокой детализации (для сложных и особо опасных объектов), к которым предъявляются следующие требования:

- максимально возможный учет всех физических и химических процессов, значимых с точки зрения обоснования безопасности на различных этапах жизненного цикла пункта захоронения;
- реализация для различных вычислительных платформ: для массивно-параллельных ЭВМ в целях достижения приемлемой скорости расчетов и возможностей решения больших задач, а также для персональных рабочих станций, в том числе для операционных систем семейства Windows, без использования параллельных вычислений;
- использование передовых численных методов для обеспечения точности и эффективности вычислений, обоснованности результатов;
- обоснование достоверности программных средств в сравнении с аналитическими решениями, разработанными для различных типовых схем и условий, и с помощью широкого набора лабораторных и натуральных экспериментов и данных мониторинга объектов; взаимное тестирование разрабатываемого продукта с зарекомендовавшими себя в этой области и имеющими широкое распространение в мировой практике программными комплексами (TOUGH2, SUTRA, SEAWAT, MT3DMS и др.);
- модульное построение программного комплекса с возможностью оптимизации описания физико-химических процессов и применения различных численных методов, а также с возможностью исследования влияния сеточной разбивки, временного шага и других факторов на точность решаемой задачи, чувствительности моделей к входным параметрам;
- наличие модулей разного уровня сложности: от одномерного переноса радионуклидов через систему защитных барьеров хранилища (могильника) от матриц с отходами во внешнюю среду до трехмерных задач миграции в геологических формациях с учетом физико-химических процессов;
- наличие современного универсального пользовательского интерфейса для работы с программным комплексом.

Используемые в России программные средства не вполне отвечают этим требованиям. То обстоятельство, что в России используются преимущественно зарубежные коды, грозит в перспективе привести к зависимости от разработчика и потере национальной компетенции и экспертных возможностей. Возникает необходимость междисциплинарного объединения усилий исследователей для решения широкого круга вопросов обоснования безопасности ПЗРО (методология, база знаний, отечественные и глубоко понимаемые зарубежные расчетные коды и т. д.): физиков, геохимиков, вычислительных математиков, гидрогеологов и др. В работе должны участво-



вать специалисты, имеющие опыт создания программных средств или кодов для моделирования сложных процессов, происходящих в геологических средах, а также использования аналогичных программных комплексов разной направленности.

В связи с этим были отмечены следующие три главные направления развития компетенций в области обоснования безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов:

- Разработка современной междисциплинарной методологии обоснования безопасности пунктов захоронения РАО с учетом передового зарубежного опыта и факта наличия в России особых РАО.
- Создание массивно-параллельного программного комплекса для моделирования процессов геофильтрации и геомиграции радионуклидов, а также их поведения в инженерных барьерах безопасности.
- Создание консолидированной верификационной базы на примере наиболее хорошо исследованных объектов (ФГУП «ПО «Маяк», ОАО «СХК», ФГУП «ГХК» и др.) и ее взаимоувязка с базами данных, создаваемыми в рамках «Программы развития и поддержки объектного мониторинга состояния недр на предприятиях ГК «Росатом» на период 2011–2015 гг.».

Отдельная принципиально важная задача — гармонизация нормативной правовой базы в отношении захоронения РАО, включая обоснование безопасности и соответствующий понятийный аппарат, с современными международными требованиями и подходами. В числе прочего необходимо установить нормы и правила, касающиеся объема необходимых изысканий и исследований, определяющих безопасность объектов захоронения, а также принципов организации мониторинга объектов захоронения РАО на всех стадиях жизненного цикла объектов.

### **7.3. Актуальные задачи обоснования безопасности пунктов захоронения РАО в Российской Федерации**

Может показаться странным, но сегодня перечень наиболее актуальных задач для Российской Федерации начинается не с пункта захоронения глубинного типа — так теперь в соответствии с законом называется геологический могильник для долгоживущих отходов. Он, скорее, им заканчивается. В силу ряда обстоятельств, обусловленных причинами, рассмотренными в разделах 2 и 5, чрезвычайно актуальны менее фундаментальные задачи, связанные с обоснованием:

- необходимости более простых и менее затратных решений по захоронению очень низкоактивных радиоактивных отходов;
- безопасности действующих пунктов захоронения, включая полигоны закачки жидких РАО и пункты размещения особых РАО;
- решений по сооружению первых пунктов захоронения низкоактивных и среднеактивных отходов.

Этот пересмотр приоритетов произошел вынужденно — в силу неоднозначности принятых в 2012 г. решений по критериям отнесения РАО к категории особых и классификации РАО для целей захоронения, а также неослабевающего внимания к обоснованию безопасности закачки ЖРО со стороны МАГАТЭ, продемонстрированного уже трижды в ходе Совещаний по исполнению требований, вытекающих из Объединенной конвенции (2006, 2009, 2012 гг.). Есть основания полагать, что через несколько лет основным и доминирующим приоритетом станет обоснование безопасности геологического могильника.

Способ решения всех этих задач один — одновременное освоение современной методологии обоснования безопасности и развитие расчетных кодов. В этом же ключе могут решаться задачи, ставящиеся в рамках новой технологической платформы, а именно — выхода на радиационно-миграционно эквивалентное захоронение РАО. В рамках данной главы ограничимся рассмотрением двух вопросов — расчетного обоснования пункта захоронения НАО и САО и обоснования безопасности закачки ЖРО в пласты-коллекторы.

### *7.3.1. Создание пункта захоронения НАО и САО на Северо-Западе*

На протяжении длительного времени в качестве потенциально возможных мест захоронения РАО рассматривался так называемый Северо-Западный регион (НАО, САО).

К концу 2012 г. в работах наметился определенный прогресс в части детализации проектных решений. Это обусловлено, во-первых, тем, что этот вариант давно прорабатывается. А во-вторых, старт создания новой системы пунктов захоронения ЕГС РАО должен состояться именно на менее опасных отходах. Для рассмотрения вопроса ограничимся предварительными оценками надежности изоляции РАО в вендских глинах.

В 2008 году в рамках проекта TACIS R4.05.04 «Концепция и программа создания хранилища короткоживущих отходов низкой и средней активности в Ленинградском регионе» [49] ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ» в консорциуме с зарубежными специалистами организаций DBE Technology (Германия), SKB IC (Швеция), Andra (Франция), COVBRA N.V. (Нидерланды) и NDA (Великобритания) разработал «Декларацию о намерениях строительства наземного и заглубленного ПЗРО в вендских глинах Ленинградской области». В качестве проектных вариантов рассматривались приповерхностный и заглубленного типа. В силу ряда обстоятельств, в том числе и предпочтений местных органов власти, в качестве базового был выбран заглубленный вариант ПЗРО туннельного типа.

В качестве технологического решения по конструкции заглубленного ПЗРО рассматривался туннель диаметром 14,2 м, сооружаемый в вендских глинах на промплощадке ЛСК «Радон». Авторами оценивались свойства вендских глин, их способность минимизировать как приток подземных вод к ПЗРО в период эксплуатации, так и миграцию радионуклидов из закрытого хранилища, а также защитить выше- и нижележащие водоносные горизонты, которые в настоящее время используются для водоснабжения. Расчеты проводились как аналитически, так и численно с использованием программы MODFLOW [51].

Согласно проведенным исследованиям [50], на территории промплощадки ЛСК «Радон» мощность вендских глин на участке работ составляет около 90 м. Гидродинамический напор в вышележащем ломоносовском и нижележащем нижнекотлинском водоносных горизонтах составляет примерно 20 м и –2 м соответственно. Кровля и подошва толщи вендских глин располагаются на абсолютных отметках около 0 м и –90 м соответственно. По проекту туннель будет располагаться посередине толщи глин.

На основании результатов исследования фильтрационных свойств вендских глин [50] их коэффициент фильтрации равен  $4,7 \cdot 10^{-7}$  м/сут. Фильтрационные свойства водоносных горизонтов выше на 6–7 порядков.

Миграционные оценки проводились для четырех основных радионуклидов:  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ . Для расчетов миграции радионуклидов из хранилища использовались

миграционные параметры (табл. 7.3.1), принятые на основе исследований монолитов пород толщи вендских глин [50]. В качестве значения коэффициента молекулярной диффузии для расчетов было принято максимальное из определенных для всех радионуклидов. Значения пористости и плотности скелета вендских глин равны 0,35 и 1,95 г/см<sup>3</sup> [50].

Таблица 7.3.1

## Расчетные миграционные параметры

Нуклид	Период полураспада, год	Коэффициент деструкции, сут <sup>-1</sup>	$K_d$ , см <sup>3</sup> /г	$D_m$ , м <sup>2</sup> /сут.	Коэффициент замедления R
<sup>60</sup> Co	5,3	$3,6 \cdot 10^{-4}$	1044	$6,0 \cdot 10^{-7}$	6787
<sup>90</sup> Sr	28,8	$6,6 \cdot 10^{-5}$	47	$2,0 \cdot 10^{-6}$	307
<sup>137</sup> Cs	30,1	$6,3 \cdot 10^{-5}$	6392	$5,0 \cdot 10^{-7}$	41579
<sup>239</sup> Pu	$2,41 \cdot 10^4$	$7,9 \cdot 10^{-8}$	13785	$1,5 \cdot 10^{-6}$	88685

Помимо указанных выше фильтрационных свойств вендских глин существуют опасения, что фильтрационные свойства глин в некоторых местах разреза могут увеличиваться до  $10^{-3}$  м/сут. [50], что было учтено при оценке. При прогнозировании также учитывалась цепочка радиоактивного распада <sup>239</sup>Pu: <sup>239</sup>Pu → <sup>235</sup>U → ...

Учитывая большой период полураспада <sup>235</sup>U, следующие элементы цепочки не учитывались. Поскольку в проведенных исследованиях миграционные параметры <sup>235</sup>U отсутствуют, они были приняты на основании исследований [53], проведенных зарубежными организациями для оценки безопасности захоронений РАО. Согласно им, коэффициент сорбционного распределения в глинах был принят равным 1000 см<sup>3</sup>/г.

Всего при оценке безопасности захоронения РАО были просчитаны 3 варианта возможных условий:

1. Нормальные условия: коэффициент фильтрации вендских глин  $4,7 \cdot 10^{-7}$  м/сут., сорбционные параметры соответствуют данным [50];
2. Повышенный коэффициент фильтрации: коэффициент фильтрации вендских глин  $10^{-3}$  м/сут., сорбционные параметры соответствуют данным [50];
3. Возникновение трещины в толще вендских глин, проходящей через центр хранилища вертикально вниз: коэффициент фильтрации вендских глин  $10^{-3}$  м/сут., сорбционные параметры толщи вендских глин соответствуют данным [50], а в трещине и окружающих ее породах сорбционная задержка отсутствует.

В таких условиях, учитывая также недостаточность имеющихся данных для полноценной трехмерной модели, расчеты фильтрационной задачи в вендских глинах были выполнены на двухмерной профильной модели. Решение проводилось численно с использованием программы MODFLOW [51] на основе метода конечных разностей с использованием ортогональной неравномерной дискретизации.

Решение фильтрационной задачи позволило получить структуру потока подземных вод (рис. 7.3.1) вблизи туннеля в эксплуатационный и постэксплуатационный периоды и оценить притоки подземных вод к туннелю хранилища: при расчетном коэффициенте фильтрации  $4,7 \cdot 10^{-7}$  м/сут. он составил  $3 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/сут. на погонный метр туннеля, при  $10^{-3}$  м/сут. —  $1,5 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/сут. на погонный метр туннеля.

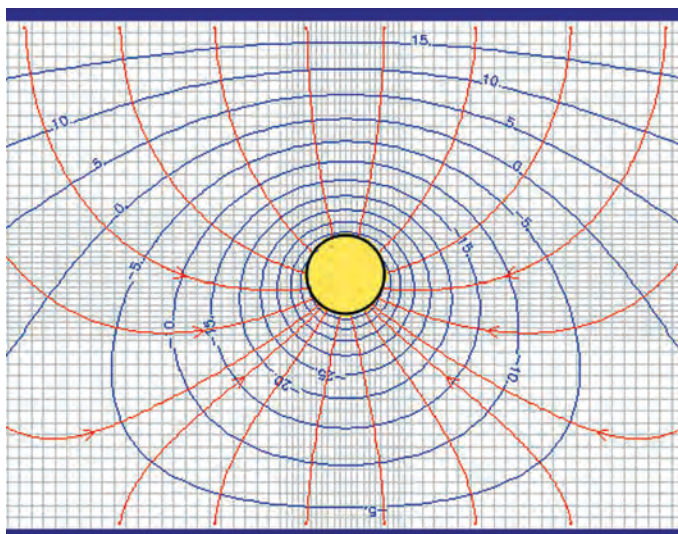


Рис. 7.3.1. Структура фильтрационного потока вблизи туннеля на конец эксплуатационного периода (30 лет эксплуатации). Синим цветом показаны напоры, красным — линии тока

Необходимо сказать, что при расчетах не учитывался эффект «начального градиента». Учитывая тот факт, что коэффициент фильтрации определялся при высоких градиентах напора ( $>100$ ), можно предположить, что в условиях эксплуатации ПЗРО водоприток в туннель будет намного меньше за счет низкого градиента напора ( $<1$ ).

Поскольку структура потока подземных вод в постэксплуатационный период близка к одномерной, для прогнозных расчетов могут быть применены одномерные аналитические решения. Расчетное время для  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  составляло 10 тыс. лет, а для  $^{239}\text{Pu}$  — 1 млн лет. Значимым порогом рассматривалась величина в  $10^{12}$  раз меньшая, чем начальная.

Аналитические расчеты проводились с использованием классического уравнения адвекции-диффузии с учетом радиоактивного распада:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \lambda c,$$

где  $\lambda$  — постоянная распада [ $\text{с}^{-1}$ ];  $D$  — коэффициент диффузии [ $\text{м}^2/\text{с}$ ];  $v$  — скорость адвекции [ $\text{м}/\text{с}$ ].

Результаты расчетов показывают, что в 1 и 2 вариантах радионуклиды за расчетное время продвинутся на глубину около 2 м, а в 3 варианте радионуклиды достигают котлинского горизонта быстрее, чем за 190 лет.

Для учета цепочек распада использовалось решение, полученное Р. Ван Генухтеном [52]. Одномерное решение основывается на дифференциальном выражении миграции радионуклида и продуктов его распада:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\theta c_1 + \rho s_1) &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \theta D \frac{\partial c_1}{\partial x} - q c_1 \right) - \mu_{w,1} \theta c_1 - \mu_{s,1} \rho s_1, \\ \frac{\partial}{\partial t}(\theta c_i + \rho s_i) &= \frac{\partial}{\partial x} \left( \theta D \frac{\partial c_i}{\partial x} - q c_i \right) + \mu_{w,i-1} \theta c_{i-1} + \mu_{s,i-1} \rho s_{i-1} - \mu_{w,i} \theta c_i - \mu_{s,i} \rho s_i \quad (i = 2, 3, 4), \end{aligned}$$



где  $c_i$  — концентрация растворенного компонента  $i$ ,  $[ML^{-3}]$ ;  $s_i$  — концентрация сорбированного компонента  $i$ ,  $[MM^{-1}]$ ;  $\theta$  — активная пористость породы,  $[-]$ ;  $q$  — действительная скорость фильтрации,  $[LT^{-1}]$ ;  $D$  — коэффициент дисперсии  $[L^2T^{-1}]$ ;  $\rho$  — объемная плотность породы,  $[ML^{-3}]$ ;  $x$  — расстояние вдоль оси  $x$ ,  $[L]$ ;  $t$  — время,  $[T]$ ;  $\mu_{w,i}$ ,  $\mu_{s,i}$  — скорость распада первого порядка для растворенного и сорбированного компонентов  $i$ , в нашем случае

$$\mu_{w,i} = \mu_{s,i}.$$

В квадратных скобках указана размерность величин массы  $[M]$ , длины  $[L]$  и времени  $[T]$ .

Результаты расчетов показывают: в первом варианте радионуклиды  $^{60}Co$ ,  $^{90}Sr$ ,  $^{137}Cs$  за расчетное время проникнут на глубину до 0,2 м,  $^{239}Pu$  — до 0,3 м,  $^{235}U$  — до 3 м; во втором варианте  $^{60}Co$ ,  $^{90}Sr$ ,  $^{137}Cs$  — до 1,2 м,  $^{239}Pu$  — до 3 м, более мобильный  $^{235}U$  достигает котлинского водоносного горизонта за 840 тыс. лет (рис. 7.3.2); в третьем варианте все радионуклиды достигают котлинского горизонта за 150 лет.

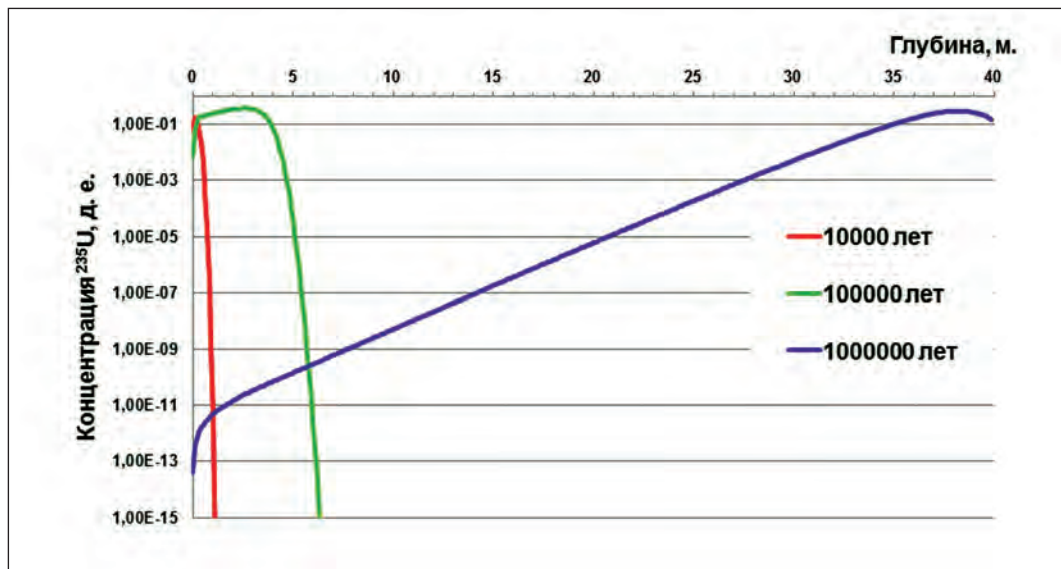


Рис. 7.3.2. Прогнозное содержание  $^{235}U$  в толще вендских глин (вариант 2)

Широко применяемые в настоящее время численные модели не позволяют рассчитывать миграцию радионуклидов в подземной гидросфере с учетом цепочек распада. К таким моделям относится разработанная в США программа MT3DMS [6] и многие другие. Такие модели могут быть использованы для моделирования одно- и многокомпонентной миграции без учета реакций между компонентами. Математическая постановка для миграции радионуклида в подземной гидросфере с учетом сорбции, распада, диффузионного и конвективного переноса приведена ниже:

$$\frac{\partial(\theta C^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \theta D_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C^k) + q_s C_s^k + \sum R_n,$$

где  $C^k$  — концентрация растворенного компонента  $k$ ,  $[ML^{-3}]$ ;  $\theta$  — активная пористость породы,  $[-]$ ;  $t$  — время,  $[T]$ ;  $x_i$  — расстояние вдоль оси  $i$  декартовых координат,

[L];  $D_{ij}$  — тензор гидродинамического коэффициента дисперсии, [LT<sup>-1</sup>];  $v_i$  — действительная скорость фильтрации, [LT<sup>-1</sup>], может быть получена на основе решения задачи фильтрации [50]:

$$v_i = \frac{q_i}{\theta} = -\frac{K_i}{\theta} \frac{\partial h}{\partial x_i};$$

$C_s^k$  — концентрация компонента k в источниках стоках, [ML<sup>-3</sup>];  $\sum R_n$  — член, учитывающий химические реакции, [ML<sup>-3</sup>T<sup>-1</sup>].

Результаты численного моделирования показывают, что максимальная глубина проникновения радионуклидов в первом варианте за расчетное время не превысит 1 м, во втором варианте — не превысит 4 м (рис. 7.3.3), в третьем варианте радионуклиды достигают котлинского водоносного горизонта за 150 лет.

Изучение части проектных материалов, связанных с подземной гидросферой, показывает, что в настоящее время информации по котлинскому горизонту достаточно мало, также существует недостаток информации по толще вендских глин, связанных с возможным наличием в них зон неоднородности по мощности и фильтрационным свойствам, наличию трещин. Поэтому на последующих стадиях проработки необходимо бурение вендских глин вдоль всей трассы туннеля. Чтобы не нарушить сплошность вендских глин, желательно осуществлять бурение на небольшой удаленности от туннеля или горизонтальное или наклонное бурение. Для оценки защищенности нижележащего горизонта должна быть разбурена также нижняя часть вендских глин.

Недостаток информации по котлинскому горизонту при разработке модели в данной работе пришлось восполнять данными ранее проведенного моделирования [50] и литературными данными. Это представляется невозможным на последующих стадиях. Необходимо бурение 2–3 наблюдательных скважин на котлинский горизонт с определением фильтрационных свойств по данным опытно-фильтрационных работ и отбором кернового материала для определения сорбционных параметров.

Результаты расчетов для первого варианта (они согласуются с проведенными ранее в работе [50]) позволяют считать, что при подтверждении однородно низких фильтрационных свойств вендских глин они могут считаться надежным геологи-

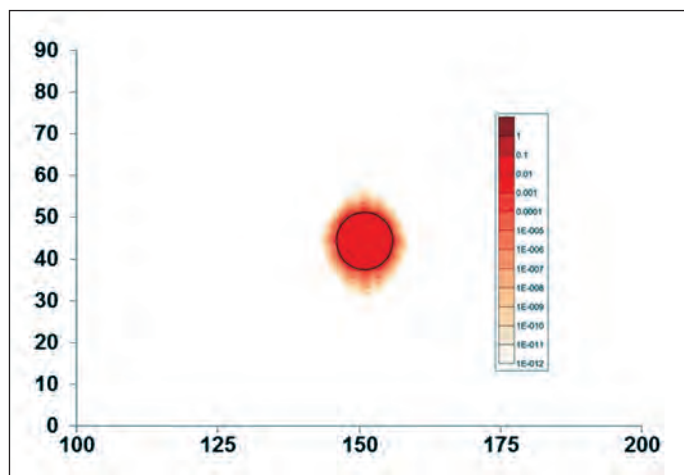


Рис. 7.3.3. Прогнозные расчеты миграции <sup>239</sup>Pu из хранилища в толще верхнекотлинских глин (вариант 2)

ческим барьером. Результаты расчетов второго варианта позволяют считать, что при однородных высоких фильтрационных свойствах вендских глин они будут барьером для всех перечисленных выше радионуклидов, за исключением  $^{235}\text{U}$ . Последний может проникнуть в нижележащий котлинский водоносный горизонт за 840 тыс. лет. Наличие трещиноватой зоны с низкими сорбционными свойствами может привести к быстрой миграции радионуклидов в котлинский водоносный горизонт.

Приведенный пример, с одной стороны, показывает, что разработчики проекта в целом адекватно используют имеющиеся у них средства оценки и обоснования безопасности захоронения. С другой стороны, этот же пример демонстрирует, что применение расширенной методологии позволяет своевременно выявить и оценить ранее не учтенные связанные с обоснованием безопасности обстоятельства, которые, возникнув они на более поздней фазе, могли бы полностью остановить проект вне зависимости от своей реальной роли. Этот же пример продемонстрировал необходимость существенно более широкой и детальной проработки правовых аспектов возможности размещения пункта захоронения РАО. По состоянию на начало 2013 года перспективы положительного решения о размещении и сооружении пункта захоронения на данной площадке не очевидны.

### ***7.3.2. Обоснование безопасности действующих полигонов закачки ЖРО***

Практика закачки ЖРО в геологические пласты-коллекторы реализуется в Российской Федерации более 50 лет. По ней есть обширная отечественная литература [55–59], реализовывалось несколько международных проектов [60–62].

История развития практики обращения с РАО на стадиях захоронения говорит о том, что практическая реализация крупномасштабных технических решений практически никогда не опережала нормативный процесс по разработке требований безопасности. Так было 50 лет назад, когда стартовали работы по закачке ЖРО в России. Так происходит и сейчас, когда мы наблюдаем этот процесс в отношении планирования захоронения ВАО и ОЯТ в глубоких геологических формациях.

При этом с течением времени требования по безопасности поступательно ужесточаются. На ранних стадиях развития технологий это положительный фактор. Однако, начиная с некоторого момента, этот процесс снижает экономическую эффективность конечного продукта — безопасно захороненных РАО. Это относится в полной мере и к атомной энергетике вообще.

В реальности ситуация такова, что разработанные в середине XX века фундаментальные теоретические основы безопасности в отношении закачки до сих пор целенаправленно совершенствуются. Причем это делается с учетом объективных ограничений: в первую очередь — отсутствие возможности извлечения отходов и только косвенная возможность наблюдения за состоянием подземных объектов. При этом необходимо помнить, что мы работаем в области, где наблюдаются экспоненциально растущие затраты на восприятие безопасности в условиях ее реальной обеспеченности меньшими средствами (рис. 7.3.4).

Тем не менее, в последние годы выявилась потребность в более четком обосновании практики подземной закачки ЖРО. Одновременно при экспертизе отчетов по обоснованию безопасности и у надзорных органов появлялись определенные замечания, связанные, главным образом, с расширенным рассмотрением влияющих на безопасность факторов и методов расчетного моделирования.

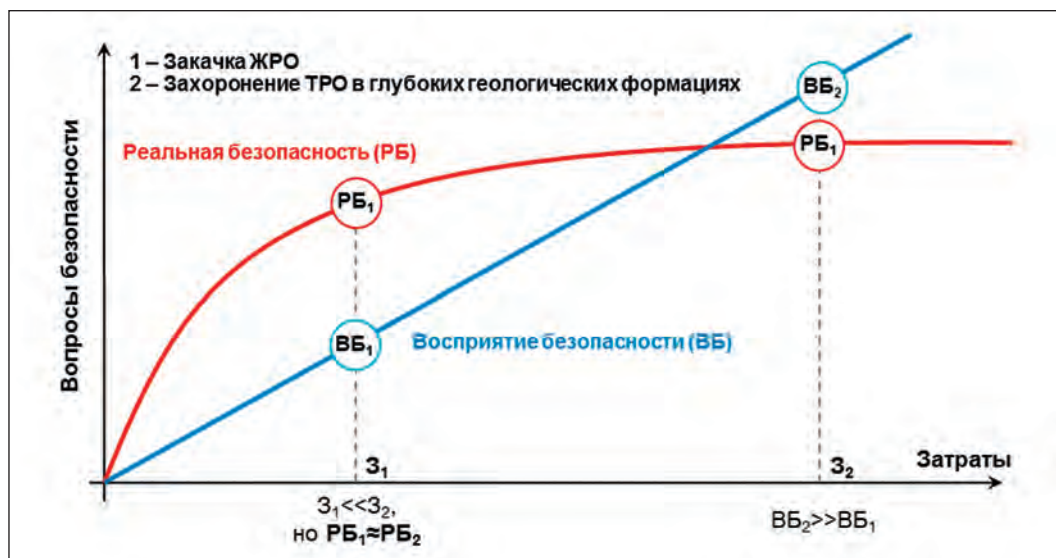


Рис. 7.3.4. Иллюстрация реализации принципа «затраты — выгода» для закачки ЖРО и захоронения ТРО в геологических формациях с позиции реальной безопасности и ее восприятия

Рассмотрим эти вопросы на двух примерах:

- процедуры самооценки, реализованной в рамках Миссии МАГАТЭ по анализу соответствия требований по безопасности глубинного захоронения ЖРО стандартам МАГАТЭ;
- развития расчетного комплекса для задач обоснования безопасности полигона «Северный» в районе расположения ФГУП «ГХК».

Не вдаваясь в историю вопроса, связанного с необходимостью оценки мировым сообществом в лице МАГАТЭ российской практики закачки ЖРО, отметим, что восприятие этой технологии за рубежом имеет скорее негативный оттенок. О причинах можно говорить долго, но совершенно очевидно, что речь идет о вопросах восприятия безопасности, нежели о реальной безопасности (рис. 7.3.4).

На начальном этапе миссии экспертами МАГАТЭ был задан 181 вопрос. Все вопросы касались рассмотрения принятых процедур и процессов на предмет соответствия требованиям МАГАТЭ, сформулированным в документе [63]. Для краткости рассмотрим лишь часть вопросов по первым 9 требованиям документа (табл. 7.3.2), которых всего 25.

Рассмотрим некоторые из поднятых вопросов более детально. Наиболее принципиальные моменты, которые будут определять направление ответов, связаны с обоснованием следующих положений:

- Пассивные средства безопасности.
- Активные средства безопасности.
- Функции безопасности.
- Удержание.
- Изоляция.

Несмотря на то, что в терминологии МАГАТЭ эти концепции относятся к захоронению ТРО, уровень обоснования безопасности закачки ЖРО, заложенный еще 50 лет назад и с тех пор непрерывно развивавшийся, позволил довольно явным образом спроектировать эти моменты на практику закачки без ущерба для смысла.



## Пример раскрытия требований документа МАГАТЭ «Захоронение радиоактивных отходов»

№	Вопрос (перевод)	Вопросы
1	<p><b>Требование 1: Ответственность государства (страница в русской версии SSR-5 – стр. 20)</b>  <i>Государству требуется установить и поддерживать надлежащую государственную, правовую и регулируемую основу обеспечения безопасности, в рамках которой должны быть четко распределены виды ответственности за установку, проектирования, строительных отходов на этапах выбора площадки, проектирования, строительства, эксплуатации и закрытия. Это включает: подтверждение на национальном уровне необходимости создания различных типов установок для захоронения; конкретное определение этапов разработки и лицензирования установок различных типов; а также четкое распределение видов ответственности, выделение финансовых и других ресурсов и предоставление независимых регулирующих функций, связанных с планируемой установкой для захоронения</i></p>	<p>Что представляет собой правовая и регулирующая база, и каким образом эта база обеспечивает основу для разработки установок для захоронения радиоактивных отходов и обоснования безопасности для этой установки?          Какие роли и обязанности, связанные с формированием нормативных требований, определены в рамках правовой и регулирующей базы?          Какие механизмы действуют и каким образом демонстрируется достаточность финансирования для проведения исследований в целях разработки обоснования безопасности и разработки установок для захоронения радиоактивных отходов?</p>
2	<p><b>Требование 2. Ответственность регулирующего органа (стр. 22)</b>  <i>Регулирующий орган должен устанавливать регулирующие требования применения радиоактивных отходов и должен вводить процедуры соблюдения требований на различных этапах процесса лицензирования. Он должен также устанавливать условия для разработки, эксплуатации и закрытия каждой отдельной установки для захоронения и должен выполнять деятельность, необходимую для обеспечения соблюдения этих условий</i></p>	<p>Каковы юридические и регулирующие требования, предъявляемые к установке и ее обоснованию безопасности?          Что представляет собой процесс лицензирования с точки зрения коммуникации (взаимодействия) между регулятором (регуляторами) и оператором в процессе разработки обоснования безопасности?          Какие регулирующие руководства были разработаны с целью уточнения регулирующих требований применительно к захоронению радиоактивных отходов и связанного с этим обоснования безопасности?          Какая система предусмотрена для документирования процедур, используемых для оценки безопасности установок и мероприятий, предлагаемых для лицензирования?          Какие процедуры действуют для информирования оператора и управления его деятельности в отношении процесса регулирования для различных этапов при разработке и лицензировании установок для захоронения радиоактивных отходов?          Какие рекомендации предусмотрены для процедур, которые будут применяться для оценки соответствия заявки на лицензию требованиям безопасности</p>

Таблица 7.3.2. Продолжение

№	Вопрос (перевод)	Вопросы
3	<p><b>Требование 3. Ответственность оператора (стр. 23)</b>  <i>Оператор устанавки для захоронения радиоактивных отходов должен нести ответственность за ее безопасность. Оператор должен проводить оценку безопасности и разработать и поддерживать обоснованне безопасности, а также должен осуществлять все необходимые виды деятельности по выбору и оценке площадки для устанавки, ее проектированию, строительству, эксплуатации, закрытию и, при необходимости, наблюдению после закрытия, в соответствии с национальной стратегией, регулирующими требованиями и в рамках юридической и регулирующей инфраструктуры</i></p>	<p>Что представляет собой процесс разработки обоснования безопасности? Каким образом предусмотрено изменение этого процесса на различных этапах разработки устанавки для захоронения? Каким образом распределены людские ресурсы для осуществления различных функций по обращению с отходами? Каким образом устанавляются и поддерживаются уровни компетенции персонала? Каковы процессы осуществления диалога между оператором и всеми заинтересованными сторонами, включая производителей отходов? Какая программа исследований и разработок проводится или предусмотрена в подтверждение безопасности во время выбора площадки, проектирования, строительства, эксплуатации, закрытия устанавки? Какой процесс применяется для установления технических условий, используемых для контроля за деятельностью и процессами, имеющими отношение к безопасности, на всех этапах разработки, эксплуатации и закрытия устанавки для захоронения? Какой процесс используется для выявления и сохранения всей информации, имеющей отношение к обоснованию безопасности?</p>
4	<p><b>Требование 4. Важность обеспечения безопасности в процессе разработки и эксплуатации устанавки для захоронения (стр. 24)</b>  <i>В течение всего процесса разработки и эксплуатации устанавки для захоронения радиоактивных отходов оператор должен развивать понимание уместности всех имеющихся вариантов и их последствий для безопасности устанавки. Это делается с целью оптимизации уровня безопасности на этапе эксплуатации и после закрытия</i></p>	<p>Какой процесс служит для обеспечения уверенности в том, что последствия для безопасности учтены и имеется достаточный уровень уверенности в безопасности до момента принятия ключевых решений? Каким образом оптимизация уровня безопасности учитывается в процессе принятия решений? Каким образом устанавливается тот факт, что до момента начала строительства имеются достаточные доказательства практичности и эффективности проектных решений, важных с точки зрения безопасности, и того, что они будут исполнять функции, заложенные в проекте, в течение заданного отрезка времени? Каким образом до момента начала строительства демонстрируется наличие достаточных доказательств того, что обратная засыпка, изоляционные барьеры и покрытия будут функционировать в соответствии с проектными требованиями? Какой подход используется для определения того, что до момента начала строительных работ определение всех необходимых характеристик было проведено на надлежащем уровне?</p>

Таблица 7.3.2. Продолжение

№	Вопрос (перевод)	Вопросы
5	<p><b>Требование 5. Пассивные средства безопасности установки для захоронения (стр. 26)</b>  <i>Оператор должен оценить площадку и спроектировать, построить, эксплуатировать и закрыть установку для захоронения таким образом, чтобы безопасность обеспечивалась в максимально возможной степени пассивными средствами и чтобы необходимость принятия мер после закрытия установки была сведена к минимуму</i></p>	<p>Какие процессы обеспечивают оценку и оптимизацию пассивных мер (применяемых как на стадии эксплуатации, так и после закрытия) на всех этапах выбора площадки, проектирования, строительства, эксплуатации и закрытия установки?          Какие активные меры уже применяются или планируются в будущем в дополнение к пассивным мерам применительно к установке для захоронения радиоактивных отходов?          Какой процесс применяется для подтверждения того, что объем принятых активных мер сведен к минимуму?</p>
6	<p><b>Требование 6. Понимание установки для захоронения и уверенность в безопасности (стр. 27)</b>  <i>Оператор установки для захоронения должен выработать надежные понимание особенностей установки и окружающей ее среды, а также факторов, которые влияют на ее безопасность после закрытия в соответствующие длительные периоды времени, таким образом, чтобы мог быть достигнут достаточный уровень уверенности в безопасности</i></p>	<p>Какие факторы (характеристики, события или процессы) установки и вмещающей окружающей среды важны с точки зрения безопасности?          Каким образом эти факторы были выявлены?          Каким образом для приведенных выше пунктов демонстрируется достаточность уровня характеристики и понятности данных факторов?          Какие факторы, в меньшей степени поддающиеся количественной оценке (такие как палеогеогеология, природные аналоги или использование известной технологии...), используются дополнительно для подтверждения уверенности в безопасности?          Каким образом <b>демонстрируется</b> то, что база знаний, связанная с функционированием системы захоронения, была разработана и постоянно способствовала повышению уровня доверия и достоверности?          Для приведенного выше пункта, <b>каким образом</b> данная база знаний используется для <b>демонстрации надежности</b> и робастности проектных характеристик, важных с точки зрения безопасности?          Каким образом в обосновании безопасности демонстрируется учет достаточного диапазона возможных нарушающих работу событий и процессов (для стадии эксплуатации, а также после закрытия), включая события и процессы, характеризующиеся малой вероятностью возникновения?          Для приведенного выше пункта, каким образом определяется предельная степень деградации функций безопасности в результате этих нарушающих работу событий и процессов?          Какой подход (методы, или меры или процедуры...) применяется для разрешения вопросов, связанных с неопределенностями, в том числе с их выявлением, описанием и обращением с ними?</p>

Таблица 7.3.2. Продолжение

№	Вопрос (перевод)	Вопросы
7	<p><b>Требование 7. Множественные функции безопасности (стр. 29)</b>  <i>Окружающая установка для захоронения среда должна быть выбрана, инженерно-технические барьеры должны быть спроектированы и эксплуатация установки должна осуществляться таким образом, чтобы безопасность обеспечивалась посредством выполнения множественных функций безопасности. Удержание и изоляция отходов должны обеспечиваться несколькими физическими барьерами системы захоронения. Работоспособность этих физических барьеров должна обеспечиваться посредством различных физических и химических процессов, а также различными средствами эксплуатационного контроля. Должна быть продемонстрирована потенциальная способность как отдельных барьеров и средств контроля, так и всей системы захоронения функционировать так, как это определено в обосновании безопасности. Общая работоспособность системы захоронения не должна чрезмерно зависеть от одной функции безопасности</i></p>	<p>Какие функции безопасности связаны с различными инженерно-техническими и естественными характеристиками установок для захоронения?                      В течение какого периода времени предполагается, что данные функции обеспечиваются?                      Какие функции безопасности, если таковые имеются, обеспечиваются активными, а не пассивными мерами, и каковы соответствующие временные рамки?                      Каким образом демонстрируется достаточность запаса безопасности в случае, если одна из функций безопасности не будет функционировать так, как предусмотрено?                      Каким образом получают информацию о том, что функции безопасности являются дополнительными, если таковые есть?                      Как оценивается общее соответствие (адекватность) функций безопасности, и какой подход используется для демонстрации того, что безопасность не зависит чрезмерно от одной из функций безопасности (принцип глубокоэшелонированной защиты)?</p>
8	<p><b>Требование 8. Удержание радиоактивных отходов (стр. 31)</b>  <i>Инженерно-технические барьеры, в том числе форма и упаковка отходов, должны проектироваться, а вмещающая окружающая среда должна выбираться таким образом, чтобы обеспечивалось удержание радионуклидов, связанных с отходами. Удержание должно обеспечиваться до тех пор, пока в результате радиоактивного распада не будет значительно снижен риск, связанный с отходами. Кроме того, в случае тепловыделяющих отходов удержание должно обеспечиваться до тех пор, пока отходы все еще выделяют тепловую энергию в количествах, которые могут оказать негативное воздействие на показатели функционирования системы захоронения</i></p>	<p>Каковы основные характеристики площадки и установки захоронения, предусмотренные для обеспечения удержания радионуклидов?                      Какая степень удержания заявлена для компонентов системы захоронения отходов, включая форму отходов, упаковку, а также другие инженерно-технические и природные характеристики?                      Каким образом демонстрируется тот факт, что основная часть активности распадется на месте в пределах спроектированной области удержания?                      Каков предполагаемый срок действия проектных решений по удержанию в пределах области удержания, и каким образом он признается адекватным?                      Каким образом устанавливается тот факт, что миграция радионуклидов за пределы системы захоронения произойдет только после значительного сокращения тепловыделения, происходящего в результате радиоактивного распада?                      Каким образом устанавливается тот факт, что выбросы любых радиоактивных веществ в газообразной форме или в форме аэрозолей являются допустимыми?</p>



Таблица 7.3.2. Продолжение

№	Вопрос (перевод)	Вопросы
9	<p><b>Требование 9. Изоляция радиоактивных отходов (стр. 32)</b>  <i>Установка для захоронения должна размещаться, проектироваться и эксплуатироваться таким образом, чтобы были обеспечены средства, направленные на изоляцию радиоактивных отходов от людей и доступной биосферы. Эти средства должны быть направлены на изоляцию короткоживущих отходов в течение нескольких сотен лет, а средне- и высокоактивных отходов – в течение, как минимум, нескольких тысяч лет. При этом внимание должно быть уделено как естественной эволюции системы захоронения, так и событиям, способным нанести ущерб установке</i></p>	<p>Каким образом устанавливается тот факт, что критерии безопасности будут удовлетворены в течение заданных временных интервалов?          Каким образом были учтены неопределенности и как осуществлялось обращение с ними при оценке радиологических воздействий?          Используются ли другие индикаторы безопасности помимо доз облучения, и как это происходит?</p> <p>Каковы основные характеристики площадки и установки для захоронения, предусмотренные для обеспечения изоляции?          Каково техническое обоснование проектных средств, чьи сроки службы должны соответствовать срокам, в течение которых они обязаны обеспечивать изоляцию?          Какова ожидаемая продолжительность административного контроля в отношении обеспечения изоляции и на основании чего эта продолжительность устанавливается?          Какие факторы, способные повлиять на функции изоляции установки для захоронения, были выявлены, и какие меры были или будут приняты для минимизации влияния этих факторов?          Каким образом устанавливается тот факт, что установка была размещена в подходящей вмещающей геологической формации, которая позволит системе захоронения обеспечить надлежащую изоляцию радиоактивных отходов?          Каким образом устанавливается тот факт, что критерии безопасности выполняются на заданных интервалах времени?          Каким образом были учтены неопределенности, и как осуществлялось обращение с ними при оценке радиологических воздействий?          Используются ли другие индикаторы безопасности помимо доз облучения, и как это происходит?          Каким образом до момента принятия решения об окончательном проекте рассмотрены альтернативные проектные решения для случаев, когда проникновение человека может привести к сценариям с возможностью превышения дозы облучения?</p>

Пассивные средства безопасности — это элементы, функционирование которых не зависит от поступления извне такого воздействия, как команда на включение, от механического перемещения или подвода энергии. Отмечается, что это определение является общим по своему характеру. В случае закачки ЖРО пассивные меры безопасности — это:

- Сорбционные барьеры. С учетом минералогического состава пород и пластовых вод осуществляется управление химическим составом и объемами закачиваемых отходов, чтобы обеспечить минимальную скорость их распространения.
- Пласт-коллектор, локализирующий отходы в заранее установленных границах.
- Слабопроницаемые горизонты (водоупоры), залегающие выше пласта-коллектора и предотвращающие вертикальное движение отходов в вышележащие горизонты.
- Буферный горизонт, обеспечивающий локализацию отходов в случае перетока по стволам скважин или через водоупор.
- Подземные инженерные сооружения. Главным образом, это скважины для удаления отходов, обеспечивающие удержание отходов в технологическом пространстве скважины в период их нагнетания в пласт-коллектор и после консервации.
- Поверхностные инженерные сооружения:
  - трубопровод низкого давления для передачи отходов в хранилище;
  - накопительные емкости — размещение перед нагнетанием;
  - трубопровод высокого давления для передачи отходов к скважинам.

К активным мерам безопасности относятся элементы, функционирование которых зависит от поступления воздействия, связанного с подводом энергии извне. Иными словами, это любой элемент, не являющийся пассивным. В период эксплуатации это:

- насосы — для создания давления для нагнетания отходов;
- нагнетательные (размещение отходов), разгрузочные (управление и контроль состоянием полигона) и наблюдательные скважины;
- узел управления процессом захоронения («щит») — для контроля и управления процессом;
- система водоподготовки;
- системы контроля и мониторинга;
- реконструкция полигонов в целях повышения уровня безопасности.

В постэксплуатационный период единственной активной мерой является система мониторинга.

Третий важный термин — функция безопасности — трактуется как конкретная цель, которая должна быть достигнута для обеспечения безопасности. Основные функции безопасности для подземного захоронения жидких радиоактивных отходов:

- удержание радионуклидов в установленных границах в течение установленного времени;
- изоляция РАО от доступной биосферы.

Для достижения основных функций используются вспомогательные:

- Соблюдение технологии подготовки растворов в целях недопущения:
  - превышения критичности;
  - ускоренной миграции отходов в пласте-коллекторе;
  - кольматации скважин;
  - разогрева пласта-коллектора.
- Соблюдение напорного режима.
- Осуществление контроля и мониторинга.

Наконец, необходимо расшифровать термин «удержание», связанный по смыслу с ограничением миграции радионуклидов за пределы системы захоронения. Эта довольно очевидная конструкция для захоронения ТРО приобретает следующий вид для ЖРО: предотвращение или ограничение выхода радионуклидов в количестве, не превышающем установленное значение в течение установленного периода времени за установленные границы. Здесь установленное значение — это предельно допустимая концентрация для питьевой воды; установленный период времени — период потенциальной опасности отходов; установленные границы — горный отвод.

Опыт реализации Миссии МАГАТЭ показывает, что обилие и направленность вопросов требует, во-первых, целостного и ясного понимания проблемы в целом, начиная от особенностей системы регулирования безопасности и заканчивая нюансами происходящих процессов и явлений. Во-вторых, требуется умение оперировать принятой в международной практике терминологией и следовать определенному формализму. И в-третьих, требуется терпение для детального анализа и описания всех факторов без быстрого их отбрасывания по причине неактуальности.

**О развитии расчетного комплекса для задач обоснования безопасности полигона «Северный» в районе расположения ФГУП «ГХК».** Стимулом к развитию расчетного комплекса для задач обоснования безопасности полигона «Северный» в районе расположения ФГУП «ГХК» послужил набор замечаний экспертов, высказанных при прохождении экспертизы для продления лицензии на эксплуатацию объекта. Замечания касались параметризации модели, недостаточного учета протекающих при закачке ЖРО процессов, недостаточной обоснованности граничных условий модели, устаревшей схемы дискретизации и т. п. То есть, основной недостаток использованной для расчетов модели состоял в недостаточном использовании накопленной базы знаний как непосредственно по объекту, так и по современным тенденциям в моделировании.

В рамках разрабатываемого комплекса предусмотрена полностью трехмерная геофильтрационная геомиграционная модель, которая позволяет учитывать перетоки между водоносными горизонтами через слабопроводящие пласты и пропластки. Модель также предполагает учет влияния на процессы фильтрации плотности раствора в зависимости от концентрации примесей и температуры, перенос загрязнителей и теплотперенос, радиоактивный распад, химические реакции и сорбционные процессы.

При этом необходимо учитывать взаимосвязь явлений фильтрации и переноса, которая не позволяет решать эти задачи независимо. При разработке вычислительного кода предусматривается возможность параллельных вычислений и использования для вычислений видеокарты компьютера.

Особое внимание уделяется организации хранения и возможности использования огромного объема накопленной об объекте информации. С этой целью разрабатывается специальная база данных, бумажная информация переводится в электронный вид.

Использование накопленной информации позволяет построить более детальную структуру геологической среды с учетом неоднородностей, уточнить фильтрационные параметры пород, выбрать набор пород для детальных сорбционных экспериментов, а также обосновать граничные и начальные условия моделирования.

Несмотря на отсутствие реальных проблем, связанных с обеспечением безопасности полигонов закачки ЖРО, существуют объективные сложности с восприятием и доверием к уровню обоснования безопасности, прежде всего — долгосрочной.

В первую очередь, это касается международной научной общественности. Разработка и использование современного расчетного инструментария обоснования безопасности при эксплуатации и консервации полигона захоронения ЖРО «Северный» наряду с внедрением в практику методологии обоснования безопасности, соответствующей международным требованиям, позволит существенно смягчить эти проблемы.

#### 7.4. Методология обеспечения безопасности захоронения РАО для крупномасштабной ядерной энергетики

Одним из базовых требований, которым должна удовлетворять «крупномасштабная ядерная энергетика естественной безопасности», является «последовательное приближение к радиационно-эквивалентному (по отношению к природному сырью) захоронению РАО» [67].

Степень корректности и полноты его формулировки и обоснования во многом влияет на технические аспекты переработки ОЯТ, обращения с РАО и экономику замкнутого ЯТЦ.

Рассмотрим содержание принципа радиационной и радиационно-миграционной эквивалентности [64–69]. В соответствии с [69], «радиационная эквивалентность — равенство потенциальной биологической опасности захораниваемых радиоактивных отходов и использованного природного урана». При этом под потенциальной биологической опасностью (ПБО) понимается «потенциальная эффективная доза в зивертах, которую получают люди за 50 лет облучения после ввода в организм каждого с пищей и водой путем глотания (или с воздухом путем вдыхания) массы радиоактивных нуклидов, начальная активность которой равна одному беккерелю;  $ПБО = AE$ , где  $A$  — число людей, совпадающее с величиной активности группы идентичных нуклидов в беккерелях,  $E$  — дозовый коэффициент рассматриваемых нуклидов, Зв/Бк».

В этом определении не учитывается, что радионуклиды после их захоронения имеют различную вероятность воздействия на человека, поскольку распространяются в инженерных барьерах безопасности и окружающей среде с разной (вплоть до практически нулевой) скоростью. В связи с этим принцип радиационной эквивалентности получил свое развитие: «принцип радиационно-миграционной эквивалентности состоит в возврате в землю количества радионуклидов, которое равно по опасному воздействию на человека количеству, извлеченному из земли с ураном» [68], при этом опасность учитывает различные миграционные свойства радионуклидов.

Очевидно, что оценки, полученные с использованием принципа радиационной эквивалентности, будут гораздо более консервативными, чем в случае радиационно-миграционной эквивалентности.

Сразу отметим, что в публикациях по рассматриваемому вопросу присутствует терминологическая многоликость (критерий радиоактивности, баланс биологической опасности, потенциальная биологическая опасность, эффективная радиотоксичность, радиационно-миграционная эквивалентность, радиационно-эквивалентное захоронение), которая создает ощущение избыточности и не до конца раскрытых нюансов, но на понимание, тем не менее, существенно не влияет.

Радиационно-миграционная активность РАО рассчитывается по формуле [66]:

$$A_{p/m-эке} = \sum \frac{A_i \xi_i}{K_{рад, i} K_{мигр, i}} \quad (6)$$



где  $A_i$  (Бк) — активность  $i$ -го радионуклида в ОЯТ;  $\xi_i$  — доля элемента, идущая в отходы;  $K_{рад,i}$  и  $K_{мigr,i}$  — безразмерные радиационные и миграционные коэффициенты, характеризующие соответствующие свойства  $i$ -го радионуклида по сравнению с природным ураном.

Радиационный коэффициент  $i$ -го радионуклида определяется как отношение какого-либо параметра, характеризующего воздействие этого радионуклида на человека, к аналогичной характеристике природного урана (с учетом всех продуктов цепочки его распада):

$$K_{рад,i} = \frac{УВ_i}{УВ_u} = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_u} \quad (7)$$

или

$$K_{рад,i} = \frac{ППП_i}{ППП_u}, \quad (8)$$

где  $УВ$  (Бк/кг) — уровень вмешательства (концентрация радионуклида в воде, при которой годовая доза при ее потреблении с интенсивностью 2 л/день составит 0,1 мЗв/год;  $\varepsilon$  (Зв/Бк) — дозовый коэффициент для случая внутреннего облучения;  $ППП$  (Бк или кг) — предел годового поступления радионуклида в организм человека.

Миграционный коэффициент  $i$ -го радионуклида равен «отношению коэффициентов задержки или торможения в горных породах (Retardation Factors — RF) элементов из числа РАО и природного урана» [66]:

$$K_{рад,i} = \frac{RF_i}{RF_u}. \quad (9)$$

«Коэффициенты задержки равны отношению скорости движения воды в структуре горных пород к скорости миграции элемента» [66]. Они «учитывают химическую форму нуклида, включают коэффициент его распределения между твердой породой и водой за счет сорбции-десорбции, определяются экспериментально и табулируются» [68]. Значения коэффициентов задержки приведены в [66] и базируются на результатах работ [71–74].

С помощью (6)–(9) предлагается определить время выдержки РАО с момента их образования до захоронения  $\tau$ , при котором активность захораниваемых отходов будет находиться в состоянии радиационно-миграционного баланса с активностью природного урана (с учетом всех элементов цепочки его распада), «из которого образовалось» это количество РАО.

Концептуальные выводы работы [66]:

- «Общий результат по времени достижения баланса для ядерной энергетики в среднем (окончательный баланс при времени выдержки 3–5 млн лет) неприемлем и требует введения мероприятий трансмутационного ЯТЦ для снижения времени выдержки отходов.
- При применении операций трансмутационного ЯТЦ к современным реакторам ВВЭР-1000 и РБМК-1000 ...радиационный баланс достигается после вре-

- мени длительной контролируемой выдержки около 200 лет, тогда как для достижения радиационно-миграционного баланса достаточно примерно 30 лет.
- Наиболее существенной операцией трансмутационного ЯТЦ, приводящей к заметному снижению активности отходов актиноидов, является введение ре-цикла плутония и минорных актиноидов — Am, Cm и Np — в указанном порядке по вкладу в конечный эффект. Основное влияние на снижение активности отходов продуктов деления оказывает извлечение при переработке топлива Sr и Cs для полезного использования».

Рассмотрим перспективы развития принципа радиационно-миграционной эквивалентности. Идея «возможности обращения с ядерными материалами при замыкании топливного цикла, при котором в землю возвращалось бы столько же радиоактивности, сколько из нее добыли при извлечении урана» начала предметно обсуждаться в 1987 г. [70]. Все базовые результаты, которые в настоящее время принимаются как ее обосновывающие, были получены в начале 1990-х гг. без привлечения специалистов в области радиационной безопасности и переноса радиоактивных веществ в подземной гидросфере.

Авторы, тем не менее, понимали необходимость развития, поэтому простота и точность первоначальных оценок представлялись на тот момент приемлемым приближением: «Безусловно, расчет миграции может быть сделан точно, если известен состав слоев между хранилищем и биосферой и известны коэффициенты задержки элементов отходов в различных породах. Однако оба этих фактора неизвестны сейчас и вряд ли станут известны в ближайшем будущем... Положительной стороной (использованного подхода — *прим. авторов*) является простота оценок и разумность результатов по порядку величины. Кроме того, экспериментальные данные о коэффициентах задержки постоянно пополняются и могут быть уточнены» [66].

В настоящее время, спустя более 20 лет после получения первых обнадеживающих результатов, принцип радиационно-миграционной эквивалентности еще не стал общепринятым подходом. При этом необходимо отметить его чрезвычайную привлекательность в части решение задач по исключению сверхдлительного бремени на последующие поколения, связанные с опасностью плутония и минорных актиноидов. В отношении так называемых короткоживущих радионуклидов, в том числе  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , ситуация не так остра. При доказательстве возможности их безопасного захоронения не наблюдается серьезных методологических сложностей.

В целом можно констатировать, что текущий уровень обоснования концепции радиационно-миграционной эквивалентности не в полной мере соответствует ее предлагаемому статусу как краеугольного камня будущей крупномасштабной ядерной энергетики:

- Количественная оценка радиационно-миграционной составляющей по формулам (6)–(9) и метод расчета ПБО не соответствуют современным подходам к решению задач радиационного воздействия на человека и окружающую среду, являясь очень грубым приближением, характеризующим некую абстрактную опасность РАО, которая не может быть связана линейно с реальной опасностью. При этом доказательств корректности переноса результатов анализа этой абстрактной опасности на реальные условия, равно как и корректности сравнения радиационных и миграционных свойств радиоактивных веществ с ураном по принципу пропорции отсутствуют и, по-видимому, не могут быть получены в принципе.

- Возможности трансмутации с точки зрения удовлетворения принципу радиационной эквивалентности не доказаны [92]. При этом даже при успешной разработке соответствующих технологий потребуются очень серьезные фракционирование РАО, а количество извлеченного  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  может (и наверняка будет) превосходить реальные хозяйственные нужды.
- Авторы концепции совершенно справедливо применяют ее только к РАО, образующимся при переработке ОЯТ, однако при корректном расчете «баланса опасности» необходимо также учитывать и дозы для персонала при обращении с сопутствующими переработке НАО и САО [93].
- Международная научная общественность практически никак не комментирует результаты [64–69], что свидетельствует о необходимости дальнейших работ в этом направлении. Интересно, что в пункте захоронения НАО и САО SFR1 (Швеция) радиационная эквивалентность между захороненными нуклидами и активностью извлеченной при строительстве гранитной массы достигается через 300 лет после захоронения. Безопасность, тем не менее, обосновывается все равно на гораздо большие временные промежутки (до миллиона лет), поскольку миграционные свойства РАО не идентичны исходным радионуклидам (то есть, подход с использованием миграционного коэффициента признается некорректным).

Совершенно очевидно, что пришло время серьезной коррекции обосновывающих материалов рассматриваемой концепции в части, по крайней мере, радиационно-миграционных аспектов. Ситуация в какой-то мере облегчается тем, что определение радиационно-миграционной эквивалентности РАО — задача, тесно связанная (по сути, обратная) с обоснованием безопасности пунктов захоронения РАО, где большинство нюансов фактически уже было рассмотрено на гораздо более серьезном уровне и с привлечением гораздо более серьезных людских и финансовых ресурсов, нежели в [64–69]:

- В мире реализуются крупномасштабные международные программы (в том числе находящиеся на завершающих стадиях) по изучению вопросов безопасности геологических захоронений РАО и ОЯТ (без переработки — Швеция, Финляндия, США) [77, 78].
- Мировая практика оценки безопасности проектирующихся пунктов захоронения РАО такова, что на фоне довольно тесной международной кооперации страны с развитой атомной энергетикой стремятся разрабатывать собственные расчетные коды, позволяющие описывать процессы переноса радионуклидов в геологической среде и их воздействие на человека: DarcyTools [79], Ecolego [80] — Швеция; Tough2 [81], ModFlow [82], Goldsim [83] — США; MASCOT [84], AMBER [85] — Англия.
- Производится детальнейший (10 и более путей воздействия) расчет дозовой нагрузки от пунктов захоронения даже тех РАО, масса которых не превышает 1 т [88–90], а также урановых месторождений [91].

Для решения задач практического применения принципа и обоснования безопасности захоронения РАО, образующихся в ЗЯТЦ с реакторами на быстрых нейтронах, на основе технологий параллельных многопроцессорных расчетов разрабатывается расчетный код нового поколения «GeRa», который позволит:

- корректно решать задачи обоснования радиационной эквивалентности (в варианте, вероятнее всего, радиационно-миграционного баланса) захоронения РАО, образующихся в ПЯТЦ;

- определять требования, накладываемые условиями захоронения РАО, на характеристики отдельных стадий ПЯТЦ;
- обосновывать безопасность пунктов захоронения РАО.

В итоге при корректном взаимосвязанном учете всех факторов, определяющих опасность РАО, принцип радиационно-миграционной эквивалентности приобретет фундаментальную основу, а требования, налагаемые на интенсивность трансмутации, с большой вероятностью снизятся.

## **Заключение**

1. Перспективы практической реализации работ по созданию пунктов захоронения в России существенно повысили востребованность накопленного в мире положительного опыта реализации проектов по созданию пунктов захоронения различных типов. Успешное освоение этого опыта в полном объеме является не просто сложной технологической задачей. Оно еще более усложняется несколькими важными обстоятельствами, связанными с:

- Отсутствием в стране отработанной традиции размещения полигонов захоронения даже обычных отходов производства и потребления. Каждое принятие такого решения происходит в условиях напряженных дискуссий с местной общественностью, а последующая эксплуатация полигонов зачастую демонстрирует несостоятельность ряда обещаний по поводу сохранения качества окружающей среды.
- Отсутствием устоявшегося доверия к организациям атомной отрасли на протяжении десятилетий работавших в условиях закрытости. Усилия в области информирования и взаимодействия с общественностью, предпринимаемые Госкорпорацией «Росатом» в последнее десятилетие, еще не дали безусловного закрепления положительного отношения населения и были существенно подорваны аварией на АЭС Фукусима.
- Необходимостью решать задачи обоснования безопасности захоронения на месте ранее накопленных РАО.
- Наличием пробелов в предшествующей практике по обоснованию безопасности жидких РАО, а именно отсутствием систематической деятельности по признанию данной технологии по линии МАГАТЭ.

2. Решение задач включения в российскую практику современных подходов потребует значимых усилий не только национального оператора по захоронению РАО и Госкорпорации «Росатом», но и органов государственной власти Российской Федерации и субъектов Российской Федерации.

3. Задачи развития, в том числе по новой технологической платформе, поставленные перед атомной отраслью России, позволили приступить к практической реализации новых подходов к замыканию ядерного топливного цикла, в рамках которых создание новых расчетных кодов обоснования безопасности, в том числе захоронению РАО, должны сыграть решающую роль.

## **Литература**

1. The Disposal of Radioactive Waste on Land. Report of the Committee on Waste Disposal of the Division of Earth Sciences. Publication 519. National Academy of Sciences – National Research Council. Washington D.C. September 1957.



2. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. — Под общей редакцией Е.В. Евстратова, А.М. Агапова, Н.П. Лаверова, Л.А. Большова, И.И. Линге. — 2010 г. — 373 с. — Т. 1.
3. Большов Л.А. Главный вопрос при захоронении РАО — обоснованность решений по безопасности // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды, №1, 2011. С. 4–5.
4. Neil Chapman. The Principles and Concept of Geological Disposal // ITC School of Underground Waste Storage and Disposal: An Introduction to Safety Evaluation of Geological Repositories for Radioactive Wastes. Stockholm, April 4<sup>th</sup> to 6<sup>th</sup> 2011.
5. Кочкин Б.Т. Геоэкологический подход к выбору районов захоронения радиоактивных отходов. М.: Наука, 2005. — 115 с.
6. Кедровский О.Л., Шишиц И.Ю., Гупало Т.А., Леонов А.Е., Савушкина М.К., Косарева И.М. Обоснование условий локализации высокоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива в геологических формациях // Атомная энергия, Т. 70, Вып. 5, май 1991. С. 294–297.
7. Лаверов Н.П., Омеляненко Б.И., Величкин В.И. Геологические аспекты проблемы захоронения радиоактивных отходов // Геоэкология, № 6, 1994. С. 3–20.
8. НП-058-04. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения.
9. Гупало Т.А. Принципиальные подходы и методология проведения работ по обоснованию безопасности федеральных, региональных и локальных объектов захоронения всех видов РАО // Доклад на межотраслевом семинаре «Обоснование безопасности пунктов захоронения радиоактивных отходов на базе современных моделей переноса радионуклидов в геологических формациях и инженерных барьерах», ИБРАЭ РАН, Москва, 25–26 мая 2011 г.
10. Величкин В.И., Полуэктов П.П., Строганов А.А., Шарафутдинов Р.Б. Критерии долговременной безопасности хранилищ радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива // Вопросы радиационной безопасности, № 4, 1999. С. 5–33.
11. NEA/OECD. Confidence in the Long-term Safety of Deep Geological Repositories. Its Development and Communication, 1999.
12. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты. Издание 2007 года. МАГАТЭ, Вена, 2007 год.
13. NEA/OECD. Can Long-Term Safety Be Evaluated? — An international Collective Opinion. Paris. 1991.
14. C. Pescatore. The Safety Case — Concept, History and Purpose // Safety Cases for Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: Where Do We Stand? Symposium Proceedings. Paris, France. 23-25 January 2007.
15. Уткин С.С., Капырин И.В. Некоторые принципиальные вопросы обоснования экологической безопасности захоронения радиоактивных отходов // XLI Радиоэкологические чтения В.М. Ключковского, г. Обнинск, 4 декабря 2012 г. С. 11–36.
16. NEA/OECD. The Nature and Purpose of the Post-closure Safety Cases for Geological Repositories. OECD, Paris, 2013.
17. <http://www.andra.fr/international/pages/en/dossier-2005-1636.html>
18. <http://skb.se/Templates/Standard/17139.aspx>
19. Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. TR-11-01. SKB, 2011.
20. Long-term safety for KBS-3 repositories at Forsmark and Laxemar — a first evaluation. Main report of the SR-Can project. Technical report TR-06-09 / Svensk Karnbranslehantering AB — 2006 — 613 p.
21. Argile: Évaluation de la faisabilité du stockage géologique en Formation Argileuse. Report.// ANDRA — France, 2005 — 241 p.
22. Bourgeat A., Kern M., Schumacher S., Talandier J. The COUPLEX test cases: Nuclear waste disposal simulation // Computat. Geosci. — 2004 — Vol. 8, no. 2. — Pp. 83–98.
23. В.М. Шестаков. Гидрогеодинамика. — М.: КДУ, 2009 — 334 с. Подземная гидромеханика. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Каневская Р.Д., Максимов В.М. — М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. — 496 с.
24. Седов Л. И. Механика сплошных сред. — М.: Наука, 1970. — Т. 1. — 492 с.
25. Nielsen D.R., Van Genuchten M.Th., Biggar J.W. Water Flow and Solute Transport Processes in the Unsaturated Zone. // Water resources research. — 1986 — Vol. 22, №9 — Pp. 89-108.
26. Отчет ASCEM-SITE-102010-1. ASCEM Phase I Demonstration.// US DOE — 2010 — 71p. Доступен по адресу [http://ascemdoe.org/assets/docs/siteapp/Phase\\_1\\_Demo.pdf](http://ascemdoe.org/assets/docs/siteapp/Phase_1_Demo.pdf).
27. Novikov A.P., Kalmykov S.N., Utsunomiya S. и др. Colloid Transport of Plutonium in the Far-Field of the Mayak Production Association, Russia // Science. — 2006 — Vol. 314, №5799 — Pp. 638-641.
28. Farmer, C. L. (2002), Upscaling: a review. International Journal for Numerical Methods in Fluids. — 2002 — Vol.40 — Pp.63–78.
29. Bolshov L., Kondratenko P., Pruess K., and Semenov V. Nonclassical Transport Processes in Geologic Media: Review of Field and Laboratory Observations and Basic Physical Concepts. Vadose Zone J. 2008. Vol. 7. № 4. P. 1135–1144.
30. Bouchaud J.-P., Georges A. Anomalous diffusion in disordered media: statistical mechanisms, models, and physical applications. Phys. Rep. 1990. Vol. 195. P. 127.
31. Montroll E. W., Weiss G. Random walks on lattices II. J. Math. Phys. 1965. Vol. 6. P. 167.
32. Khintchine A., Levy P. Sur les lois stables. C. R. Acad. Sci. Paris 1936. Vol. 202. P. 374.
33. Wyss W. The fractional diffusion equation. J. Math. Phys. 1986. Vol. 27. P. 2782.

34. Schneider W.R., Wyss W. Fractional diffusion and wave equations. *J. Math. Phys.* 1989. Vol. 30. P. 134.
35. Compte A. Stochastic foundations of fractional dynamics. *Phys. Rev. E* 1996. Vol. 53. P. 4191.
36. Дыхне А.М., Кондратенко П.С., Матвеев Л.В., Перенос примеси в перколяционных средах, *Письма в ЖЭТФ*, 2004, т. 80, № 6, сс. 464–467.
37. Bolshov L.A., Dykhne A.M. and Kondratenko P.S., Fluctuation Approach to Assessment of the Reliability of Radioactive Waste Disposal, *Journal of Hydraulic Research*, 2005, Vol. 43, No. 2, 208–212.
38. Dykhne Alexander M., Dranikov Ilya L., Kondratenko Petr S., Matveev Leonid V., Anomalous diffusion in a self-similar random advection field, *Physical Review E72*, 061104 (2005).
39. Dykhne Alexander, Dranikov Ilya, Kondratenko Peter, and Matveev Leonid, Transport Regimes and Concentration Tails for Classical Diffusion in Heterogeneous Media with Sharply Contrasting Properties *Vadose Zone J* Nov 26 2008: 1145–1151
40. Bolshov Leonid, Kondratenko Peter, Matveev Leonid, and Pruess Karsten, Elements of Fractal Generalization of Dual-Porosity Model for Solute Transport in Unsaturated Fractured Rocks, *Vadose Zone J* Nov 26 2008: 1152–1160.
41. Schmittbuhl J., Schmitt F., Sholz C. H. Scaling invariance of crack surfaces. *J. Geophys. Res.* 1995. Vol. 100(B4) P. 5953-5973.
42. Novakowski K.S., Bikerton G.S. Borehole measurement of the hydraulic properties of low-permeability rock. *Water Resour. Res.* 1997, Vol. 33. № 11. P. 2509–2517.
43. Chang J., Yortsos Y. S. Pressure Transient Analyses of Fractal Reservoirs. In: Paper SPE 18170. Presented on 63rd Annual SPE Technical Conference and Exhibition, Soc. of Pet. Eng., Houston, Tex., October 2-5, 1988.
44. Mandelbrot B.B. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: Freeman. 1982
45. Шкловский Б. И., Эфрос А. Л. Теория протекания и проводимость сильно неоднородных сред // *УФН* 1975. Т. 117. В.3. С. 401–435.
46. Sahimi M. Flow phenomena in rocks: From continuum models to fractals, percolation, cellular automata, and simulated annealing. *Rev. Mod. Phys.* 1993. Vol. 65. P. 1393–1534.
47. Паташинский А. З., Покровский В. Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. М.: Наука. 1975.
48. Ma S.-K. *Modern Theory of Critical Phenomena* London: Benjamin. 1976.
49. ВНИПИЭТ. Проект TACIS – R4.04/04. Концепция и программа создания хранилища короткоживущих отходов низкой и средней активности в Ленинградском регионе // Санкт-Петербург, 2008.
50. Румынин В. Г. Отчет по НИР «Изучение инженерно-геологических и гидрогеологических свойств вендских глин с целью проведения геологических работ по созданию и ведению мониторинга состояния недр на промплощадке ФГУП ЛСК «Радон» // Санкт-Петербург, 2008.
51. McDonald, M. C. and A. W. Harbaug. MODFLOW. A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model // U. S. Geological Survey, Open-file report 83-875 // 1988.
52. M. Th. van Genuchten. Convective-dispersive transport of solutes involved in sequential first-order decay reactions // *Computers & Geoscience* Vol. 11, No. 2, pp. 129–147, 1985.
53. United States Environmental Protection Agency. Understanding variation in partition coefficient,  $K_d$ , Values. Volume II. Review of geochemistry and available  $K_d$  values for cadmium, cesium, chromium, lead, plutonium, radon, strontium, thorium, tritium ( $^3\text{H}$ ), and uranium // August 1999.
54. Chunmiao Zheng and P. Patrick Wang. A modular three-dimensional multispecies transport model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems (Release DoD\_3.50.A) // The University of Alabama, 1999.
55. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. и другие. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. – М.: ИздАТ, 1994, 256 с.
56. Гольдберг В.М. Гидрогеологические прогнозы движения загрязненных подземных вод. М., Недра, 1973.
57. Гидрогеологические исследования для захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты. М., Недра, 1976.
58. Белицкий А.С. Охрана окружающей среды при подземной захоронении промстоков. М., Недра, 1976.
59. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Опыт-миграционные работы в водоносных пластах. М., Недра, 1986.
60. Measurements, Modeling of Migration and Possible Radiological Consequences at Deep-Well Injection Sites for Liquid Radioactive Waste in Russia. Final report. EUR 17626 EN, 1997.
61. Evaluation of the Radiological Impact Resulting from Injection operations in Tomsk-7 and Krasnoyarsk-26. Final report, European Commission, EUR 18189 EN, 1999.
62. Building Confidence in Deep Disposal: The Borehole Injection Sites at Krasnoyarsk-26 and Tomsk-7 (BORIS). Final report. EUR 20615EN, 2003.
63. Рассмотрение принятых процедур и процессов на предмет соответствия требованиям МАГАТЭ.
64. Адамов Е.О., Ганев И.Х., Лопаткин А.В., Муратов В.Г., Орлов В.В. Степень приближения к радиационной эквивалентности высокоактивных отходов и природного урана в топливном цикле ядерной энергетики России // *Атомная энергия*, том 81, вып. 6, 1996. С. 403–409.
65. Адамов Е.О., Ганев И.Х., Лопаткин А.В., Муратов В.Г., Орлов В.В. Влияние трансмутационного топливного цикла на достижение радиационно эквивалентности высокоактивных отходов и урана в ядерной энергетике России // *Атомная энергия*, том 81, вып. 6, 1996. С. 409–415.
66. Адамов Е.О., Ганев И.Х., Лопаткин А.В., Муратов В.Г., Орлов В.В. Трансмутационный топливный цикл в крупномасштабной ядерной энергетике России: монография. М.: ГУП НИКИЭТ, 1999.
67. Белая книга ядерной энергетики / Под общ. ред. проф. Е.О. Адамова/ М.: Изд-во ГУП НИКИЭТ. 2001.

68. Лопаткин А.В., Величкин В.И., Никипелов Б.В., Полуэктов П.П. Радиационная эквивалентность и природоподобие при обращении с радиоактивными отходами // Атомная энергия, том 92, вып. 4, 2002. С. 308–317.
69. Адамов Е.О., Ганев И.Х. Экологически безупречная ядерная энергетика. М.: НИКИЭТ им. Н.А. Доллежалея. 2007. 145 с.
70. Адамов Е.О. Не благодаря, а вопреки... М.: ЗАО «Актив», 2009.
71. Brookes D.G. Geochemical Aspects of Radioactive Waste Disposal. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg. Tokyo. 1984.
72. Krauskopf K.B. Radioactive Waste Disposal and Geology. London, New York, Chapman and Hall, 1988.
73. Pigford T.H. Long-term Environmental Impacts of Geological Repositories // Radioactive Waste Management, 1984, v.4, P. 81–116.
74. Roedder E. Formation, Handling, Storage and Disposal of Nuclear Wastes // J. Geol. Educ. 1990, v. 38, № 5. P. 380–392.
75. Muller F. State-of-the-art in ecosystem theory. Ecological Modelling 100, 1997. P. 135–161.
76. L. Monte, J.E. Brittain, L. Hakanson et al. Review and Assessment of Models Used to Predict the Fate of Radionuclides in Lakes // Journal of Environmental Radioactivity, 69, 2003. p. 177–205.
77. <http://www.andra.fr/international/pages/en/dossier-2005-1636.html>
78. Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark. Main report of the SR-Site project. TR-11-01. SKB, 2011.
79. <http://www.cfe.se/darcytools.html>
80. <http://ecolego.facilia.se/ecolego/show/HomePage>
81. Pruess, K., Oldenburg C., Moridis G. TOUGH2 user's guide, version 2. Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL-43134(revised), Berkeley, CA, 1999, revised 2011.
82. McDonald, M. C. and A. W. Harbaug. MODFLOW. A modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. — U. S. Geological Survey, Open-file report 83-875 — 1988 — 588 p.
83. <http://goldsim.com/Home/>
84. J.E. Sinclair, P.C. Robinson, N.S. Cooper, K.J. Worgan, M.J. Williams. Mascot and Mop programs for probabilistic safety assessment. Part D: Mascot (Version 3C) User Guide 1995.
85. <http://quintessa.org/software/index.html>
86. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения, IAEA, BSS-115, 1996.
87. Руководство № RS-G-1.7. Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля. МАГАТЭ, 2001 г.
88. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES; Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities (Exemption Values) below Which Reporting Is Not Required in the European Directive, Radiation Protection 65, Doc. XI-028/93, CEC, Brussels (1993).
89. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Derivation of Activity Concentration Levels for Exclusion, Exemption and Clearance, draft report, IAEA, Vienna, 2004.
90. European Commission. Radiation Protection № 122. Guidance on General Clearance Levels for Practices. Directorate-General Environment. 2000.
91. <http://www.wise-uranium.org/rdcu.html>
92. Апсэ В.А., Синцов А.Е., Шмелев А.Н., Куликов Г.Г., Саито М., Артисюк В.В. Радиоактивные отходы: пути обезвреживания // Инженерная физика, № 3, 2001. С. 32–41.
93. M. Apted, J. Kessler, M. Nutt, M. Kozak, A. Orrell, A. Sowder. «Radiotoxicity Index»: An Inappropriate Discriminator for Advanced Fuel Cycle Technology Selection. Final Proceedings of the Waste Management — 2012 Conference, February 26 — March 1, 2012, Phoenix, AZ, USA.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В решении проблем обращения с РАО в Российской Федерации произошел существенный перелом, который, в первую очередь, продемонстрировал готовность атомной промышленности России к выходу на мировые стандарты высокой экологичности. Как и в других ядерных странах, этот перелом произошел не в силу реализовавшихся масштабных угроз для здоровья человека и состояния окружающей среды, а в связи с общей ориентацией на устойчивое развитие.

Вопросы безопасного обращения с химическими и радиоактивными веществами стали неотъемлемой частью природоохранного, санитарного и атомного законодательства как на национальном, так и на международном уровне. Применительно к выбросам и сбросам используется многобарьерная система ограничений — на источник потенциального загрязнения, параметры среды обитания и выпускаемую продукцию. Несмотря на эти меры, проблема выбросов и сбросов в настоящее время имеет не только локальное и региональное, но и глобальное измерение с точки зрения распространения и масштабов воздействия на окружающую среду и воздействие на здоровье человека. Применительно к отходам развивается система требований по их обезвреживанию и захоронению. Эффекты, связанные с размещением отходов, носят исключительно локальный характер в случае цивилизованного с ними обращения. Это в равной мере справедливо как в отношении химических веществ, так и в отношении радиоактивных. Становление этих систем в отношении вредных химических и радиоактивных веществ имело существенные отличия. В первом случае такие системы создавались в ответ на уже сложившуюся опасную ситуацию и в настоящее время развиваются также с определенным запаздыванием. Это запаздывание отличается большим географическим разнообразием. В отношении же радиационной защиты рекомендации и фундаментальные принципы ее обеспечения стали формулироваться на международном уровне со второй половины прошлого века: сначала как рекомендации МКРЗ и МАГАТЭ, а затем и в рамках Объединенной конвенции по безопасности обращения с ОЯТ и РАО. Во всех странах, в том числе и в России, начиная с первых лет деятельности в области использования атомной энергии, предпринимались все меры, которые в те годы представлялись необходимыми для обеспечения безопасности населения и охраны окружающей среды.

В настоящее время уровни радиационного воздействия и риски для здоровья человека, связанные с техногенным облучением, исключительно кропотливо оцениваются и на много порядков (в тысячи и миллионы раз) ниже рисков, обусловленных загрязнением окружающей среды химически вредными веществами, которые в большинстве случаев и существенно хуже контролируются. В отношении первых мониторинг осуществляется на уровне тысячных и миллионных долей от допустимых концентраций, в отношении вторых — на уровне предельных концентраций и в ограниченном объеме с точки зрения охвата территорий и числа загрязнителей. Аналогична ситуация с оценкой радиационного воздействия — имеется возможность просчитать



практически все пути воздействия всех радионуклидов на протяжении всего срока их потенциальной опасности. В то же время в диапазоне малых доз нет объективных данных для практического доказательства справедливости линейной беспороговой концепции воздействия радиации на человека, равно как и справедливости или спорности так называемой основной парадигмы радиоэкологии. В этой связи в радиационном нормировании преобладает консервативный подход, и нормативы обладают большим запасом прочности. В отношении химических веществ в части, касающейся влияния на здоровье человека, объем нормативных ограничений велик, но не полон, в связи с постоянным появлением новых химических соединений. В природоохранной области объемы нормирования и мониторинга химически вредных веществ существенно скромней — нормативы установлены лишь для ограниченного числа наиболее опасных загрязнителей.

Для всех стран следует констатировать существенно более высокий уровень безопасности обращения с радиоактивными отходами в сравнении с системами обращения с обычными отходами производства и потребления. Необходимость развития системы обращения с РАО в России и в других странах обусловлена не уровнями радиационного воздействия на персонал и население, а исключительно со стремлением управлять рисками в долгосрочной перспективе (на сотни лет вперед) и исключить бремя на последующие поколения. Жесткие требования в отношении захоронения РАО, принятые на международном уровне, могут не окупиться в краткосрочной перспективе, но обязательно окупятся уже через 10–15 лет.

Несмотря на указанные обстоятельства, и в России, и в мире общественное восприятие радиационного риска в целом и радиационных рисков, связанных с РАО, существенно острее и болезненнее в сравнении с оценкой рисков, связанных с обычными отходами.

2. Принципиальная возможность устойчивого развития ядерных технологий подкреплена лучшей мировой практикой, а его неизбежность закреплена требованиями «Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами». На международном уровне сформирована система научных представлений, технических подходов и требований безопасности в отношении безопасного обращения с РАО, которая реализована в форме стандартов МАГАТЭ. Захоронение РАО рассматривается в качестве основного способа их безопасной окончательной изоляции. Классификация РАО для целей захоронения предусматривает разделение потоков РАО на отходы с большим содержанием природных радионуклидов и РАО техногенного происхождения, а также проводит принципиальную дифференциацию по способам захоронения. Практика захоронения применяется в отношении всех отходов, за исключением отходов высокой активности. В отношении высокоактивных и среднеактивных долгоживущих отходов осуществляются обширные научно-исследовательские программы. Эти работы базируются на наиболее развитых и детализированных процедурах оценки безопасности.

3. Российская Федерация в 2005 году ратифицировала Объединенную конвенцию и неуклонно следует ее положениям, что было подтверждено в рамках Совещаний договаривающихся сторон (2006, 2009 и 2012 годы). Стимулирующее воздействие Объединенной конвенции будет распространяться и на иные аспекты обеспечения ядерной и радиационной безопасности: вопросы обращения с ОЯТ, сбросов и выбросов радионуклидов, вывода из эксплуатации, аварийного реагирования и т.д. Таким образом, Объединенная конвенция обязывает к комплексному решению на национальном уровне

широкого круга вопросов, в том числе связанных с обращением с РАО, и предусматривает механизмы международного контроля за состоянием дел в этой области. Практически единственным проблемным моментом является необходимость достижения согласия по практике захоронения ЖРО, ранее не применявшейся в круге стран, имеющих отнесенный к лучшим практикам опыт. Решение проблемы затрудняется тем, что эти страны уже миновали тот исторический этап, на котором эта практика могла быть востребована, и не имеют выраженных предпосылок к ее признанию.

4. Период 2005–2007 годов был характерен выработкой основных подходов к развитию системы обращения с РАО, а затем и их детализации. Намеченные в этот период основные направления деятельности в области формирования ЕГС РАО в полной мере реализуются. Они включали три составляющих: реализация организационных мероприятий; планирование и реализация мероприятий по обеспечению безопасности накопленных РАО; совершенствование правовых условий обращения с РАО.

Активная деятельность по указанным трем направлениям привела к тому, что к концу 2012 года в области обращения с РАО произошел принципиальный перелом, характеризующийся переходом от режима их накопления с неочевидными перспективами средне- и долгосрочного плана, к переходному периоду функционирования ЕГС РАО. В рамках этого переходного периода должны быть определены конечные цели и состояния всех мест размещения накопленных радиоактивных отходов, трансформированы схемы обращения с радиоактивными отходами в организациях с выходом на полный цикл переработки и кондиционирования, и созданы основные объекты инфраструктуры захоронения. В этот же переходный период будут продолжены работы по удалению на захоронение и консервации накопленных ранее радиоактивных отходов.

Признаками и свидетельствами этого перелома является вступление в силу №190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и последовавшие за ним:

Определение национального оператора, которым стал ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами», разработка и утверждение его инвестиционной программы на период до 2035 года. Установлением тарифов на захоронение и прогнозов образования сформирован источник финансирования инвестиционной и производственной программы Национального оператора.

Начало первичной регистрации РАО и условий их размещения. В результате её реализации к концу 2014 года будет закреплена федеральная собственность на все накопленные РАО, а отношении большинства мест их размещения будет определен основной способ обращения с ними.

Во всех организациях Госкорпорации «Росатом», в результате деятельности которых образуются РАО, развернуты работы по планированию преобразования систем обращения с РАО, предусматривающие доведение уровня переработки и подготовки РАО к захоронению до 100%. Организации, имеющие потенциал оказания услуг по обращению с РАО, также планируют свою деятельность на будущее. Деятельность организаций сопровождается мерами органа управления в области обращения с РАО по взаимоувязке и координации планов создания мощностей переработки и своевременному созданию недостающих элементов инфраструктуры.

Развертывание практических работ по подавляющему большинству типов объектов ядерного наследия в рамках ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» и проработка планов их решения программно-целевыми методами на период до 2025 года.

Выход на этапное состояние в части объектов комплексной утилизации АПЛ, характеризующееся переводом основных объемов радиационно опасных объектов из состояния выдержки на плаву в состояние долговременного безопасного хранения и завершением формирования объектов инфраструктуры для вывоза накопленных на бывших береговых базах ОЯТ и РАО на долговременное хранение и переработку.

Создаваемая система имеет элементы гибкости, которые позволят в будущем решить некоторые проблемные моменты, вероятность возникновения которых существует. В ряде случаев потребуются обоснованная корректировка принятых нормативно-правовых актов. Только практическая деятельность и опыт их правоприменения позволят подготовить необходимые технико-экономические обоснования. Можно ожидать, что к 2016 году основные нормативно-правовые акты, регламентирующие функционирование ЕГС РАО, претерпят некоторые изменения, основанные на практическом опыте.

Ожидаемая продолжительность переходного периода — 10–15 лет. После его завершения Единая государственная система обращения будет функционировать в полном объеме, а параметры деятельности по захоронению радиоактивных отходов будут характеризоваться превышением объемов их захоронения над объемами образования. В течение 50–70 лет ожидается полное решение проблем по накопленным РАО.

5. Реализация мероприятий ФЦП ЯРБ позволила коренным образом изменить концептуальные подходы к решению накопленных проблем и развитию систем завершающих стадий жизненного цикла. Организации отрасли, эксплуатирующие ядерно и радиационно опасные производства и объекты наследия, завершают переход от практики поиска и реализации временных решений, обеспечивающих ядерную и радиационную безопасность в краткосрочной перспективе, к выработке решений, реализация которых обеспечит либо долгосрочную безопасность, либо окончательное решение конкретной накопленной проблемы. Появление перспектив решения накопленных проблем инициировало увеличение расходов организаций на их решение. Реализация мероприятий федеральной целевой программы комплексной утилизации АПЛ и ФЦП ЯРБ стимулировала привлечение средств зарубежных участников глобального партнерства в объеме, превышающем 6 млрд долларов США.

Создана национальная система управления работами по ядерному наследию, включающая государственного заказчика-координатора в лице Госкорпорации «Росатом» и государственных заказчиков. Система управления продемонстрировала возможность своевременного осуществления корректирующих действий по конкретным мероприятиям в условиях резкого увеличения объема работ. Одновременно был определен потенциал развития системы управления, обусловленный, прежде всего, новыми требованиями в области обращения с ОЯТ и общим развитием рынка услуг на завершающих стадиях жизненного цикла объектов использования атомной энергии.

Организациями — участниками ФЦП ЯРБ накоплен новый опыт реализации крупных мероприятий в области решения накопленных проблем. Этот опыт включает работу с проектными и научными организациями, прохождение различного рода экспертиз, включая государственную экологическую экспертизу, экспертизу органов регулирования безопасности и многие другие компоненты, предусмотренные действующим законодательством. Второй составляющей этого опыта является опыт взаимодействия с подрядными организациями и поставщиками, число которых достигало многих десятков. Начало практических работ выявило большое количество важных для безопасности аспектов, связанных с качеством поставляемого оборудования и материалов, формами и способами реализации программ обеспечения качества, процедурами оценки

соответствия. Опыт их решения способствовал технологическому и организационному развитию десятков организаций, в том числе за пределами отрасли.

Комплекс НИОКР, выполняемых в рамках ФЦП ЯРБ, дав принципиально новые практические результаты (экологические аспекты и риски для здоровья, прогнозирование и обоснование безопасности, новые технологии), стимулировал несколько процессов, важных для обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Среди них сохранение научного потенциала и высокой компетенции по ряду направлений, которые длительное время регулярным образом не финансировались; омоложение научных коллективов, в том числе в организациях, которые были близки к кризисному состоянию; возвращение в международную научную кооперацию по ряду направлений исследований.

Итоги пяти лет реализации ФЦП ЯРБ позволили получить фактические результаты по радикальному повышению уровня обеспечения ядерной и радиационной безопасности почти по всем аспектам ядерного наследия, включая накопленные РАО. В области обращения с РАО:

- Повышена безопасность Теченского каскада водоемов (ФГУП ПО «Маяк») и выработаны стратегические подходы к её долгосрочному обеспечению.
- Разработаны технологии очистки загрязненных вод ряда производств ФГУП «ПО «Маяк» и ведутся работы по строительству комплекса цементирования РАО, которые позволят прекратить размещение ЖРО в приповерхностных хранилищах ЖРО.
- Получены первые референции по консервации бывших приповерхностных хранилищ ЖРО (ГХК, СХК).
- Разработаны проекты и начаты работы по консервации хвостохранилищ, в том числе образовавшихся в организациях, вышедших из атомной отрасли 10 и более лет тому назад (КЧХК, г. Лермонтов и др.).
- Получен опыт развертывания работ и формирования исчерпывающего плана в таких крупных организациях, как Российская академия наук.

Разработкой проектов ведения работ, инвентаризацией ядерно и радиационно опасных объектов создан задел для планирования дальнейших работ по решению накопленных проблем на период до 2025 года и на дальнейшую перспективу. В области обращения с РАО подобную задачу, но уже в полном объеме, предстоит выполнить в период 2013–2014 годов в ходе первичной регистрации радиоактивных отходов. Закрепление накопленных РАО в федеральной собственности создаст правовую основу для планирования работ в рамках федеральных целевых и иных государственных программ на долгосрочной основе.

6. Несмотря на наличие аналогов за рубежом, а именно долгосрочных программ по ядерному наследию в США, Великобритании и Франции, требования к обоснованию объемов финансирования ФЦП ЯРБ-2 и последующих программ из средств федерального бюджета будут нарастать, поскольку помимо рисков, связанных с ядерным наследием, будет учитываться и результативность предшествующих программ и итоги деятельности атомной отрасли по предотвращению возникновения новых проблем в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

7. Определены подходы к использованию механизмов управления и рыночных механизмов к формированию ЕГС РАО. В рамках организационных мероприятий в системе управления атомной отрасли сформирован единый орган управления, ответственный за формирование и реализацию государственной политики в области обращения с РАО. Одновременно созданы и ориентированы на активное участие в разви-



тии ЕГС РАО специализированные организации — Управляющая компания «Федеральный центр ядерной и радиационной безопасности», ФГУП «РосРАО».

8. Определен перечень приоритетных научно-технических и социально-экономических задач, решение которых должно обеспечить эффективное развитие ЕГС РАО. В этот перечень вошли:

- Развитие методологии обоснования безопасности захоронения РАО.
- Обеспечение социальной приемлемости размещения, сооружения, эксплуатации и закрытия пунктов захоронения РАО.
- Создание эффективной линейки упаковок и средств транспортирования РАО. Оптимизация размещения и развития установок по переработке РАО.

9. В завершение следует констатировать, что критическая фаза в обращении с РАО в Российской Федерации преодолена. Любые задержки с развертыванием работ в период 2005–2008 годов могли привести к сохранению режима работы «ликвидация критических ситуаций». В настоящее время созданы основные инструменты, в том числе правовые, которые позволят заблаговременно предотвращать такие критические ситуации в сфере ядерного наследия и полностью их исключать при обращении с вновь образующимися РАО. Тем не менее, накопленные передовые практики обращения с РАО, в том числе захоронения, показывают, что безопасность этой деятельности необходимо постоянно и доказательно подтверждать.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ 1**

### **Требования ОСПОРБ–99/2010 в части обращения с РАО: риски для обеспечения ядерной и радиационной безопасности и техническая невыполнимость**

Документ «Основные санитарные правил обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99/2010)» и адаптированные к нему «СПОРО–2002/2010» в скором времени станут достоянием истории. Тем не менее, представляется важным зафиксировать его системные недостатки.

Наиболее детально этот документ был проанализирован в аналитической справке «Некоторые проблемы практической реализации требований ОСПОРБ–99/2010», подготовленный авторами настоящей монографии, кроме того, к этой работе были привлечены специалисты: д. т. н. С.В. Антипов, д. б. н. Е.К. Хандогина, к. т. н. О.А. Павловский, к. ф.-м. н. В.Д. Ковальчук, к.ф.-м.н. В.И. Дорогов, М.В. Ведерникова, О.Г. Мызникова. Были учтены ценные замечания и предложения академика Р.М. Алексахина (ГНУ «ВНИИСХРАЭ» Россельхозакадемии), к. э. н. Ю.Д. Полякова, А.А. Чижова, к. т. н. С.Н. Брыкина (ФГУП «РосРАО»), к. т. н. Р.Б. Шарафутдинова (ФБУ «НТЦ ЯРБ»), к. г.-м. н. А.И. Рыбальченко (ОАО «ВНИПИПромтехнологии»).

Кратко рассмотрим основные критические замечания к ОСПОРБ–99/2010. Документ содержит ряд новых требований и положений, наиболее проблемными из которых являются:

- введение нового приложения (приложение 3 к ОСПОРБ–99/2010) «Удельные активности техногенных радионуклидов, при которых допускается неограниченное использование материалов»;
- введение единой границы отнесения материалов к твердым, жидким и газообразным радиоактивным отходам (приложение 4 к НРБ–99/2009 для радионуклидов техногенного происхождения) — п. 3.12.2;
- введение понятия «производственные отходы с содержанием техногенных радионуклидов выше значений, приведенных в приложении 3» (пп. 3.12.5, 3.12.10, 3.12.11);
- требование обязательного отверждения жидких производственных, содержащих техногенные радионуклиды, и жидких радиоактивных отходов, а также требование об их раздельном сборе (п. 3.12.10);
- исключение запрета сброса жидких радиоактивных отходов (п. 3.12.11 ранее действовавших ОСПОРБ–99), жидких производственных отходов с повышенным содержанием техногенных радионуклидов и иных жидких отходов с содержанием техногенных радионуклидов на уровнях ниже значений, приведенных в приложении 3, в хозяйственно-бытовую и ливневую канализацию;
- запрет на разбавление жидких радиоактивных отходов в целях снижения их активности (п. 3.12.17).

Из этих новых положений:

- первое (без его ограничения на твердые формы материалов) и второе (введение единой границы отнесения материалов к твердым, жидким и газообразным РАО) — полностью противоречат международным рекомендациям и ру-

ководствам, поскольку неоправданно распространяют критерии освобождения от регулирующего контроля для твердых отходов на жидкие и газообразные;

- третье (промышленные отходы с повышенным содержанием техногенных радионуклидов) — предлагается организовывать раздельное обращение с новыми классами твердых, жидких и газообразных веществ, в то время как границы между ними и РАО определены только для половины радионуклидов и только для твердых веществ;
- четвертое (требование обязательного отверждения) — полностью не соответствует реализуемой в Российской Федерации практике безопасной закачки жидких РАО в геологические пласты-коллекторы, реализуемой на четырех предприятиях, и технологически не обеспечено на многих иных предприятиях.

Анализ проблемной ситуации показал, что сохранение ситуации в неизменном виде чревато:

**Для предприятий:**

1. В связи с резким и многократным увеличением количества жидких и газообразных материалов, освобожденных от регулирования по радиационному признаку (в отношении этих материалов не устанавливается никаких ограничений на хозяйственное использование кроме продовольственного сырья, пищевой продукции, питьевой воды и кормов для животных):
  - эти материалы и вещества могут использоваться, передаваться или продаваться другим организациям;
  - исчезают какие-либо прямые требования, а следовательно, и основания по обращению с жидкостями и газами, содержащими техногенные радионуклиды в опасных концентрациях;
  - исчезают основания для финансирования работ с накопленными бывшими ЖРО;
  - появляются стимулы для поиска нетехнологических решений по обращению с бывшими ЖРО;
  - при этом в некоторых случаях для больших количеств материалов, содержащих радиоактивные вещества в очень малых количествах, в том числе природных радионуклидов уранового ряда, практическая возможность освобождения от регулирующего контроля отсутствует.
2. В связи с введением категории жидких, газообразных и твердых «производственных отходов» и установлением требования по организации раздельного обращения с жидкими производственными отходами (ЖПО) и жидкими радиоактивными отходами (ЖРО):
  - в новых проектах объектов использования атомной энергии должны быть новые разделы (например, «Обращение с ЖПО»), которые конструктивно не реализуемы;
  - в действующих производствах должны быть предусмотрены программы по устранению несоответствий действующим нормам и правилам.
3. В связи с установлением требования обязательного отверждения ЖПО и ЖРО:
  - нельзя осуществлять закачку ЖРО на ГХК, СХК, НИИАР и Калининской АЭС (ежегодно закачивается более 1 млн м<sup>3</sup>);
  - нельзя размещать ЖРО в промышленных водоемах без наличия планов и программ по последующему отверждению (ежегодно размещается более 1 млн. м<sup>3</sup>);

- на всех предприятиях должны быть разработаны программы и планы по устранению несоответствий действующей практики обращения с ЖРО требованиям норм и правил по обязательствам последующего отверждения.

**Для населения и окружающей среды:**

4. При прямом расчете конкретных сценариев воздействия жидкостей и газов, содержащих радиоактивные вещества на уровнях освобождения (Приложение 3 ОСПОРБ–99/2010), негативных последствий для человека может и не быть, но объекты окружающей среды (сельхозугодья, пожарный водоем и пр.) будут загрязнены и не смогут быть в дальнейшем использованы без ограничений (примеры приведены в разделе 2.1).

**Для атомной отрасли в целом:**

5. Резкой критикой российской практики регулирования и обращения с РАО в рамках четвертого Совещания договаривающихся сторон по выполнению обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции [1], в связи с тем, что:
  - практика освобождения от регулирующего контроля неоправданно распространяется на жидкие и газообразные материалы с концентрациями активности, многократно превышающими безопасные пределы;
  - установленное органом регулирования требование по отверждению жидких и газообразных радиоактивных отходов не соблюдается на практике;
  - вопреки новым требованиям продолжается закачка ЖРО;
  - вскоре произойдет радикальное сокращение инвентарных списков и объемов (почти в 100 раз) накопленных ЖРО без должных мер по обеспечению безопасности;
  - в связи с перечисленным выше существенно возрастут радиационные риски для здоровья человека и безопасности окружающей среды.

Отметим, что указанные доводы были бы в полной мере справедливы при синхронизации иных действующих документов органов регулирования с требованиями ОСПОРБ–99/2010. Указанные доводы не были услышаны разработчиками ОСПОРБ–99, равно как и рядом специалистов, работающих в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности, в связи с чем рассмотрим их более детально.

**Несоответствие требований ОСПОРБ–99/2010 стандартам и руководствам МАГАТЭ**

«Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами» [1] была ратифицирована Российской Федерацией в 2005 году (далее — Объединенная конвенция).

Объединенной конвенцией предусматривается два варианта обращения с образующимися при использовании атомной энергии радиоактивными веществами и отходами. Это — осуществление сбросов и выбросов радиоактивных материалов и обращение с радиоактивными отходами. Ниже приведен ряд положений Конвенции:

- часть с) статьи 3: *«сбросы» означают планируемые и контролируемые выбросы в окружающую среду в качестве законной практики в пределах, санкционированных регулирующим органом, жидких или газообразных радиоактивных материалов, которые образовались на регулируемых ядерных установках в ходе нормальной эксплуатации;*
- часть h) статьи 3: *«радиоактивные отходы» означают радиоактивный материал в газообразном, жидком или твердом состоянии, дальнейшее использование*



- которого не предусматривается договаривающейся стороной или физическим или юридическим лицом, чье решение признает договаривающаяся сторона, и который контролируется в качестве радиоактивных отходов регулирующим органом в рамках законодательной и регулирующей основы договаривающейся стороны;*
- часть i) статьи 3: «*обращение с радиоактивными отходами*» означает все виды деятельности, включая деятельность, связанную со снятием с эксплуатации, которые имеют отношение к физическому манипулированию, предварительной обработке, обработке, кондиционированию, хранению или захоронению радиоактивных отходов, за исключением перевозки за пределами площадки. Оно может также быть связано со сбросами.

Согласно части iv статьи 11, должны приниматься соответствующие меры с тем, чтобы *предусмотреть эффективную защиту отдельных лиц, общества в целом и окружающей среды путем применения на национальном уровне соответствующих методов защиты, утвержденных регулирующим органом, в рамках своего национального законодательства, должным образом учитывающего одобренные на международном уровне критерии и нормы.*

Документы, содержащие эти одобренные на международном уровне критерии и нормы, приведены в перечне использованных документов [2–8]. Базовым документом можно считать Стандарт по безопасности (МАГАТЭ) «Классификация радиоактивных отходов» [2]. Для целей рационального ограничения регулирующего контроля радиоактивных веществ (материалов) приняты концепции изъятия и освобождения, а также определены так называемые значения концентраций активности для практического применения этих концепций. В указанном документе четко определены общие схемы и процедуры как отнесения отходов к радиоактивным, так и отнесения радиоактивных отходов к различным категориям. На стр. 16 приведена схема, иллюстрирующая соответствующие алгоритмы. На стр. 8 изложены условия освобождения отходов от регулирующего контроля со ссылкой на количественные критерии такого освобождения, приведенные в работе [3]. При этом и в документе [2] (стр. 8) и в документе [3] (стр. 11) четко определено, что процедура освобождения применима только для твердых материалов.

Кратко резюмируя принятый на международном уровне алгоритм обращения с радиоактивными веществами и РАО, можно констатировать:

- Планируемые и контролируемые выбросы (сбросы) в окружающую среду жидких или газообразных радиоактивных веществ (материалов) — только в рамках установленных нормативами сбросов и выбросов, т. е. для жидких и газообразных радиоактивных веществ критериями освобождения от регулирующего контроля должны стать верхние границы допустимых выбросов и сбросов, которые со всей очевидностью не будут совпадать для большинства веществ со значениями в Приложении 3. Современные подходы в принципе не предусматривают накопления жидких и газообразных отходов. Не подлежащие дальнейшему использованию жидкие и газообразные среды с радиоактивными веществами должны либо отвергаться (после чего это не что иное, как твердые отходы), либо сбрасываться (в рамках регулирования сбросов и выбросов).
- Изъятие и освобождение радиоактивных веществ (материалов) применяется только для содержащих радионуклиды веществ (материалов), находящихся в твердом виде, и на основе значений допустимых концентраций.
- Все остальное должно быть отнесено к радиоактивным отходам, с которыми необходимо должным безопасным образом обращаться и захоранивать.

Реализованный в ОСПОРБ–99/2010 подход дает основания для следующих утверждений:

- В дополнение к радиоактивным отходам вводится понятие производственных отходов, содержащих техногенные радионуклиды. При этом в качестве границ диапазона таких отходов взяты значения, предназначенные для концепций изъятия (все радионуклиды, малые количества) и освобождения (примерно половина радионуклидов, большие количества).
- Регламентируется возможность повторного использования материалов, содержащих радиоактивные вещества (годовая эффективная доза облучения при этом не должна превышать 10 мкЗв/год) (пп. 3.11.1, 3.11.4).
- Изъятие и освобождение — для твердых, жидких и газообразных продуктов на основе значений концентраций активности, которые установлены только для твердых отходов [5, 6, 7].
- В некоторых организациях (не имеющих собственной системы сбросов и выбросов в окружающую среду, а, следовательно, с неустановленными значениями допустимого выброса и/или сброса) жидкие и газообразные продукты, удельная активность радионуклидов в которых ниже значений, приведенных в Приложении 3 (п. 3.11.3), могут поступать в окружающую среду, т. к. никаких указаний или требований об обращении с ними правила не содержат. При этом концентрации радионуклидов в жидких и газообразных веществах могут находиться на опасных уровнях.

Отличия в международных и отечественных подходах к изъятию и освобождению отходов от регулирования по радиационному фактору и достижению целей в отношении этого регулирования приведены в табл. 1.1.

Таким образом, ОСПОРБ–99/2010 не только не гармонизированы со стандартами и руководствами МАГАТЭ последних лет [2, 3], но и полностью им противоречат, не соответствуя принятым Российской Федерацией обязательствам по организации эффективной защиты отдельных лиц, общества в целом и окружающей среды.

В соответствии с взятыми в рамках Объединенной конвенции обязательствами [1], Российская Федерация регулярно представляет совещанию договаривающихся сторон национальный доклад об их выполнении. После ратификации Российской Федерацией Объединенной конвенции в 2005 году в МАГАТЭ было представлено три национальных доклада.

Требованиями Объединенной конвенции определено, что в национальных докладах должно быть показано, каким образом достигается высокий уровень безопасности обращения с РАО, в том числе показана достаточность и обоснованность мер в области нормативно-правового регулирования безопасности. В рекомендациях МАГАТЭ подчеркивается, что в национальном докладе «должны быть указаны критерии, используемые для определения и классификации радиоактивных отходов».

Самым проблемным моментом доклада будет объяснение того, каким образом освобождаются жидкие и газообразные среды от регулирующего контроля, поскольку в качестве уровней освобождения взяты значения, рассчитанные для твердых веществ. При этом требования отверждения радиоактивных отходов и промышленных отходов с повышенным содержанием радиоактивных веществ не могут быть обоснованы таким освобождением, поскольку ограничиваются именно этим диапазоном (выше уровня освобождения для твердых отходов) и не распространяются на жидкости и газы, в которых содержание радиоактивных веществ может находиться существенно выше опасных уровней.

**Сравнение российского и международного подхода  
к регламентированию обеспечения радиационной безопасности**

Подход	Международный	Россия
Изъятие и освобождение твердых отходов, содержащих радиоактивные вещества. Фактически речь идет о фоновых значениях дозой нагрузки	Применяется	Применяется в искаженной форме. Для диапазона значений удельной активности, установленных примерно для половины перечня значимых радионуклидов (главным образом, исходя из предположения о количестве вещества), предложено понятие производственных отходов, содержащих техногенные радионуклиды (вне зависимости от количества материала)
Изъятие и освобождение жидких отходов, содержащих радиоактивные вещества	Не применяется	Неправомерно применяется на основе значений удельной активности радионуклидов, рассчитанной для освобождения только твердых отходов
Изъятие и освобождение газообразных отходов, содержащих радиоактивные вещества	Не применяется	Неправомерно применяется на основе значений удельной активности радионуклидов, рассчитанной для освобождения только твердых отходов
Требования безопасности окружающей среды	Применяются – техногенные радионуклиды могут поступать в окружающую среду только как сбросы/выбросы или отвержденные отходы	Применяется ограниченно в отношении только тех организаций, для которых установлены нормативы сбросов и выбросов
Требования к достижению конечного состояния материалов, содержащих радиоактивные вещества	Применяются для всех материалов	Применяются ограниченно. Для жидких и газообразных веществ, не относящихся ни к производственным отходам с повышенным содержанием техногенных радионуклидов, ни к радиоактивным отходам, особенно содержащих альфа-излучатели в достаточно опасных количествах, не установлено никаких требований по дальнейшему обращению, хотя по сути эти вещества также являются отходами

Национальный доклад, в соответствии со статьей 32-2 Объединенной конвенции, в частности, должен включать «инвентарный список радиоактивных отходов, подпадающих под действие конвенции, которые:

- a) содержатся в хранилище, на установках для обращения с радиоактивными отходами и установках ядерного топливного цикла;
- b) были захоронены;
- c) являются результатом практической деятельности в прошлом.

Этот инвентарный список содержит описание материала и другую соответствующую информацию, например, информацию об объеме или массе, активности и конкретных радионуклидах». Он готовится на основании данных системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов (СГУК РВ и

РАО<sup>1</sup>). Во втором Национальном докладе приводилось, что в Российской Федерации на конец 2007 года было накоплено 476 млн м<sup>3</sup> ЖРО и 82 млн т ТРО. Основная часть ЖРО (97%), накопленных на предприятиях атомной промышленности, — низкоактивные РАО, из которых 89% размещено в пунктах хранения (специальных водоемах и накопителях ФГУП «ПО «Маяк» и ОАО «СХК»).

После вступления в силу ОСПОРБ–99/2010 количество подлежащих учету ЖРО, находящихся в пунктах хранения в рамках системы СГУК РВ и РАО, сократится на 98% (табл. 1.2). В частности, крупнейшее в мире хранилище ЖРО (водоем В-11 ТКВ) в соответствии с требованиями ОСПОРБ–99/2010 вообще не будет содержать жидких радиоактивных отходов. Более того, вода большей части поверхностных водоемов-хранилищ ЖРО ПО «Маяк» (речь идет о В-2, В-6, В-3, В-4 и В-10) также более не является ЖРО [8].

Почти стократное уменьшение объемов ЖРО неизбежно вызовет углубленное рассмотрение вновь принятых критериев отнесения к ЖРО на совещании по исполнению требований Объединенной конвенции. В связи с этим следует ожидать:

- широкого обсуждения реализованного подхода как на групповом совещании по рассмотрению национального доклада Российской Федерации, так и на пленарном заседании договаривающихся сторон;
- включения в резюмирующие документы группового и пленарного заседаний рекомендаций для Российской Федерации по необходимости приведения практики регулирования в соответствие с требованиями Объединенной конвенции.

Можно также предположить, что данный факт получит значимый общественный резонанс, в том числе с ущербом для престижа российских ядерных технологий и их экспорта.

В современных условиях, характеризующихся масштабной программой строительства АЭС российского дизайна, последних инициатив Президента Российской Федерации в области безопасности АЭС и чрезвычайно обостренного восприятия вопросов обеспечения ядерной и радиационной безопасности после событий в Японии, можно прогнозировать значительное усиление негативных последствий для Российской Федерации.

## **ОСПОРБ–99/2010 и реальное содержание признанных на международном уровне концепций изъятия и освобождения**

### ***Отнесение к РАО***

Введенное ОСПОРБ–99/2010 новое правило отнесения всех отходов, в том числе жидких и газообразных, к радиоактивным по превышению МЗУА (приложение 4 НРБ–99/2009) — механически перенесено из приведенных значений удельных активностей изотопов, удовлетворяющих концепции изъятия из сферы регулирующего контроля.

Эти значения были получены из условия непревышения дозы в 10 мкЗв/год при обращении с умеренным количеством твердого материала (порядка одной тонны). В обосновывающих документах, содержащих сценарии обращения, действительно име-

<sup>1</sup> В соответствии с требованиями Федерального закона от 21 ноября 1995 г. № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии», в 1997 году постановлением Правительства Российской Федерации от 11 октября 1997 года № 1298 утверждены «Правила организации системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов» (с изменениями от 22 апреля 2009 г.).



Отнесение веществ к категории радиоактивных отходов,  
инвентарные списки радиоактивных отходов (на примере  $^{90}\text{Sr}$ )

Норма	Содержание	Комментарии
Нормы МАГАТЭ	Национальный доклад по «Объединенной конвенции...» должен включать «инвентарный список радиоактивных отходов, являющихся результатом практической деятельности в прошлом» – ст. 32 [1]. Единых численных нормативов нет [2]. Однако предусмотрена процедура действий, согласно которой РАО – это все, что не может быть изъято, исключено и освобождено от регулирующего контроля в твердом виде. Для твердых веществ определены значения удельной активности [6-8], начиная с которой обязателен регулирующийся контроль. Для $^{90}\text{Sr}$ – 10000 Бк/кг	В соответствии со ст. 11 [1], национальные нормативы <b>утверждаются регулирующим органом, в рамках своего национального законодательства, должным образом учитывающего одобренные на международном уровне критерии и нормы.</b> В настоящее время передовые с точки зрения системы обращения с РАО страны (Франция, Швеция) ориентируются на значение 10000 Бк/кг для <b>твердых веществ.</b> Для жидкостей используется чисто технический норматив, определяющий необходимость переработки – 370 Бк/кг. К данным, представленным в первом и втором Национальном докладе Российской Федерации, замечаний не было
ОСПОРБ–99/2010	Для веществ в твердой, жидкой и газообразной формах: 10 000 Бк/кг	При представлении Национального доклада <b>«рассматриваются... критерии, используемые для определения и классификации радиоактивных отходов»</b> (ст. 32 [1]). Для жидкостей и газов нам придется обосновать нормативы, которые противоречат международно признанным подходам. Российской Федерации могут быть предъявлены претензии в рамках Объединенной конвенции. Критический срок – лето 2011 года
ОСПОРБ–99	Вещество в твердой форме: 10000 Бк/кг. Вещество в жидкой форме: 50 Бк/кг. Вещество в газообразной форме: 2,2 Бк/кг	

ется несколько примеров, когда рассматриваются емкости с жидкостями и газами. Но при этом не содержится абсолютно никаких признаков, позволяющих применять их для неизолированных жидких и газообразных веществ. Используемые для расчета сценарии включали в себя:

- внешнее облучение при непосредственных манипуляциях руками с небольшим источником;
- внешнее облучение от источника объемом 1 м<sup>3</sup>;
- внешнее облучение от емкости объемом 0,1 м<sup>3</sup>, содержащей радиоактивные вещества в газообразном виде;

- внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления пыли, содержащей радиоактивные вещества, попавшие в воздух с поверхности твердого тела;
- внутреннее облучение за счет потребления чистых продуктов питания грязными руками;
- внешнее облучение от пункта размещения отходов;
- внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления пыли, содержащей радиоактивные вещества, попавшие в воздух с поверхности пункта размещения отходов;
- внутреннее облучение за счет попадания в организм 100 г твердого вещества.

Сценарии предусматривали, что дозы облучения могут быть получены профессионалами на рабочем месте в процессе нормального использования источника или в результате инцидентов, а населением — в результате облучения при проживании вблизи от полигонов-свалок. Еще раз отметим, что сценарии не включали обращение с неизолированными жидкостями и газами, а ингаляцию рассматривали только в связи с пылеобразованием на поверхности твердого тела и дальнейшим возможным попаданием аэрозолей в организм человека.

Таким образом, использование в ОСПОРБ–99/2010 в качестве границы отнесения к РАО веществ в жидкой и газообразной форме является ничем не обоснованной инициативой, не имеющей аналогов в мировой практике регулирования.

### *Освобождение от регулирующего контроля*

В 2004 г. МАГАТЭ были представлены рекомендованные уровни освобождения твердых материалов от регулирующего контроля [3] (табл. 1.3). Для этого оценивались расширенные (по сравнению с ранее использовавшимися в рамках концепции изъятия) сценарии облучения от неограниченного по размерам и суммарной активности источника [8]. В частности, были добавлены следующие пути облучения:

- потребление продуктов питания, выращенных на загрязненных территориях;
- потребление воды из источников, имеющих гидравлическую связь с пунктом размещения твердых отходов, из которого происходит выщелачивание с инфильтрационными потоками.

Уровни освобождения были рассчитаны примерно для половины перечня техногенных радионуклидов. Сценарии обращения с неограниченным количеством жидкостей, содержащих радиоактивные вещества, относились только к тем случаям, когда объектом исследования являлись твердые отходы, из которых может происходить выщелачивание радионуклидов за счет инфильтрации. При этом ограничение на малые количества вещества (до тонны) было снято. Как следствие, произошло снижение значений активности для всех нуклидов, по которым были рассчитаны значения удельной активности.

**В ОСПОРБ–99/2010 вместо того, чтобы использовать эти значения по назначению — для освобождения от регулирующего контроля больших объемов твердых веществ, эти данные трактуются как удельная активность освобождения (УАО) (Приложение 3) и применяются для веществ в любых агрегатных состояниях.** В п. 3.11.3 ОСПОРБ–99/2010 прямо указывается: *«не вводится никаких ограничений на использование в хозяйственной деятельности любых материалов, сырья и изделий (кроме продовольственного сырья, пищевой продукции, питьевой воды и кормов для животных) при удельной активности техногенных радионуклидов в них менее значений, приведенных в приложении 3 к Правилам».* При этом необходимо отметить, что сценарии возможного облучения человека

Освобождение от регулирующего контроля (на примере  $^{90}\text{Sr}$ )

Норма	Содержание	Комментарии
Нормы МАГАТЭ	Вещество в твердой форме – 1000 Бк/кг. Вещество в жидкой форме и газообразной форме – прямых нормативов нет	Для твердых веществ определены конкретные значения концентрации радионуклидов, ниже которых они могут быть освобождены от регулирующего контроля в количествах до тонны – 10000 Бк/кг [4, 5] и любых количеств материала – 1000 Бк/кг [3, 6–8]. При любых сценариях обращения с такими материалами дозы облучения не превысят 10 мкЗв/год. Для жидких и газообразных веществ теоретически предусмотрена процедура прямого расчета нормативов по аналогии с твердыми веществами (рассмотрение специальных сценариев) [2]. При этом значения будут многократно ниже, чем для твердых материалов. За рубежом жидкие и газообразные отходы освобождаются от контроля, если они не представляют опасности для здоровья (питьевая вода, вдыхаемый воздух). ЖРО и ГРО не накапливаются: они либо отверждаются, либо высвобождаются в пределах допустимых сбросов и выбросов радиоактивных веществ
ОСПОРБ–99/2010	Для веществ в твердой, жидкой и газообразной формах: 1000 Бк/кг – Прил. 3	<b>Дозы облучения при обращении с такими материалами могут превысить 1 мЗв/год (предел дозы) и существенно более высокие значения.</b> Например, Теченский каскад водоемов. Этот объект используется для приема ЖРО вплоть до настоящего времени. Объем – 360 млн. м <sup>3</sup> . Удельная активность $^{90}\text{Sr}$ в воде – 1200–1700 Бк/кг, в донных отложениях – 240 000–370 000 Бк/кг. В соответствии с ОСПОРБ-99/2010, вода ТКВ – не ЖРО [9]. Тем не менее, в текущем состоянии объект опасности не представляет, поскольку все пути вероятного радиологического воздействия изучены и контролируются. Помимо этого существует запрет на сброс воды ТКВ в открытую гидросеть. Однако, в скором времени вода очистится до уровня 1000 Бк/кг и, согласно ОСПОРБ-99/2010, появится возможность ее неограниченного использования для хозяйственных целей. Например, для орошения территории, на которой вследствие этого через 10–20 лет образуются ГРО. А если территория будет использоваться для выращивания овощей, то их потребление приведет к годовой эффективной дозе порядка <b>15 мЗв/год</b> . За рамками регулирующего контроля в результате естественных процессов неизбежно будут образовываться РАО*
ОСПОРБ–99	Вещество в твердой форме: 300 Бк/кг – п. 3.11.3	В явном виде критерии присутствуют только для твердых веществ – п. 3.11.3. Для жидких и газообразных веществ использовались значения, соответствующие возможности безопасного потребления воды для питья (уровень вмешательства) и вдыхания воздуха (допустимая объемная активность) [10]. Жидкости: до 5 Бк/кг – питьевая вода; в интервале 5–50 Бк/кг – оптимизация; выше 50 Бк/кг – радиоактивные отходы. Для газов: ниже 2,2 Бк/кг

\* **Пример:** имеется бочка с водным раствором с концентрацией стронция-90 около 900 Бк/л. Это не РАО и не жидкие производственные отходы с повышенным содержанием радионуклидов. **Никаких требований по обращению не налагается.** Емкость может быть перемещена с площадки.

Через месяц за счет испарения в этой емкости оказываются жидкие производственные отходы с повышенным содержанием радионуклидов, еще через месяц – это жидкие радиоактивные отходы, еще через месяц – это твердые радиоактивные отходы. Радиоактивные отходы могут появиться где угодно.

в связи с контактом с радиоактивными веществами в твердой, жидкой и газообразной форме существенно отличаются. В случае жидкой и газообразной среды их гораздо больше. И те же концентрации радионуклидов в жидком и газообразном состоянии могут дать дозы в десятки, сотни, тысячи раз большие в сравнении с твердым веществом. Соответствующие примеры приводятся ниже.

Таким образом, введение в ОСПОРБ–99/2010 единой границы освобождения от регулирующего контроля для веществ в твердой, жидкой и газообразной форме является абсолютно неверным толкованием рекомендаций МАГАТЭ и неизбежно приведет к снижению уровня обеспечения радиационной безопасности персонала и населения в России.

### **ОСПОРБ–99/2010 и обеспечение радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды**

В случае нахождения радионуклидов в жидком или газообразном состоянии в концентрациях, даже ниже указанных в приложении 3 к ОСПОРБ–99/2010, вполне возможно и высоко вероятно облучение в дозах, существенно превышающих значение 10 мкЗв/год. На рис. 1.1–1.5 показаны изменения в классификации материалов и веществ, содержащих радиоактивные вещества; использованы данные Приложения 3 ОСПОРБ–99/2010 (УАО — удельная активность освобождения), Приложения 4 НРБ–99/2009 (МЗУА), а также значений УВ и ДОА.

Рассмотрим ряд потенциально возможных коллизий.

#### **Пример 1.**

Контакты человека с воздушной средой, содержащей изотоп  $^{236}\text{U}$  на уровне значений из Приложения 3 ОСПОРБ–99/2010, могут создать за 1 час эффективную дозу около 50 мЗв. Простое сравнение среднегодовой допустимой объемной активности для  $^{236}\text{U}$  (0,035 Бк/м<sup>3</sup> — НРБ–99/09) и уровня освобождения (~10000 Бк/м<sup>3</sup> — ОСПОРБ–99/2010<sup>1</sup>) говорит о колоссальном разрыве между нормативными величинами, основное назначение которых — гарантированная безопасность.

#### **Пример 2.**

В некотором объеме жидкости содержится радиоактивное вещество  $^{89}\text{Sr}$ . Согласно НРБ–99/09 (Приложение 2а), УВ для  $^{89}\text{Sr}$  в питьевой воде равно 0,053 Бк/г. Допустимая объемная активность  $^{89}\text{Sr}$  в воздухе (для населения), согласно НРБ–99/09, составляет 0,015 Бк/г воздуха.

Согласно п. 3.11.3 (ОСПОРБ–99/2010): *«Не вводится никаких ограничений на использование в хозяйственной деятельности любых материалов, сырья и изделий (кроме продовольственного сырья, пищевой продукции, питьевой воды и кормов для животных) при удельной активности техногенных радионуклидов в них менее значений, приведенных в приложении 3 к Правилам».*

Для  $^{89}\text{Sr}$  в приложении 3 приводится величина 1000 Бк/г. Заметим, что согласно НРБ–99/09, МЗУА для  $^{89}\text{Sr}$  также равно 1000 Бк/г (Приложение 4).

Согласно п. 3.12.1 (ОСПОРБ–99/2010) *«К радиоактивным отходам относятся не подлежащие дальнейшему использованию вещества, материалы, смеси, изделия, удельная активность техногенных радионуклидов в которых превышает МЗУА».*

В п. 3.12.3 (ОСПОРБ–99/2010) *«По удельной активности радиоактивные отходы подразделяются на 3 категории — низкоактивные, среднеактивные и высокоактивные (таблица 3.12.1)».*

<sup>1</sup> Удельный вес воздуха при нормальных условиях равен 1,225 кг/м<sup>3</sup>.



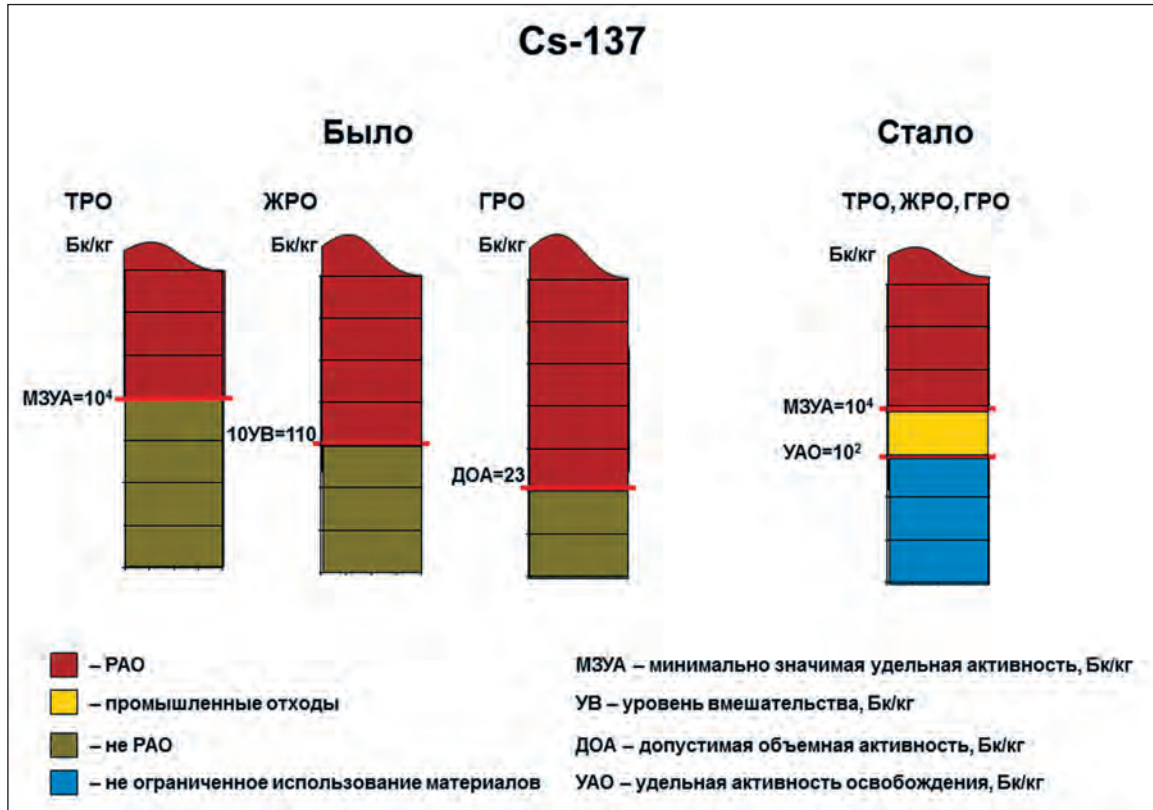


Рис. 1.1. Классификация материалов, содержащих <sup>137</sup>Cs, до и после введения ОСПОРБ–99/2010

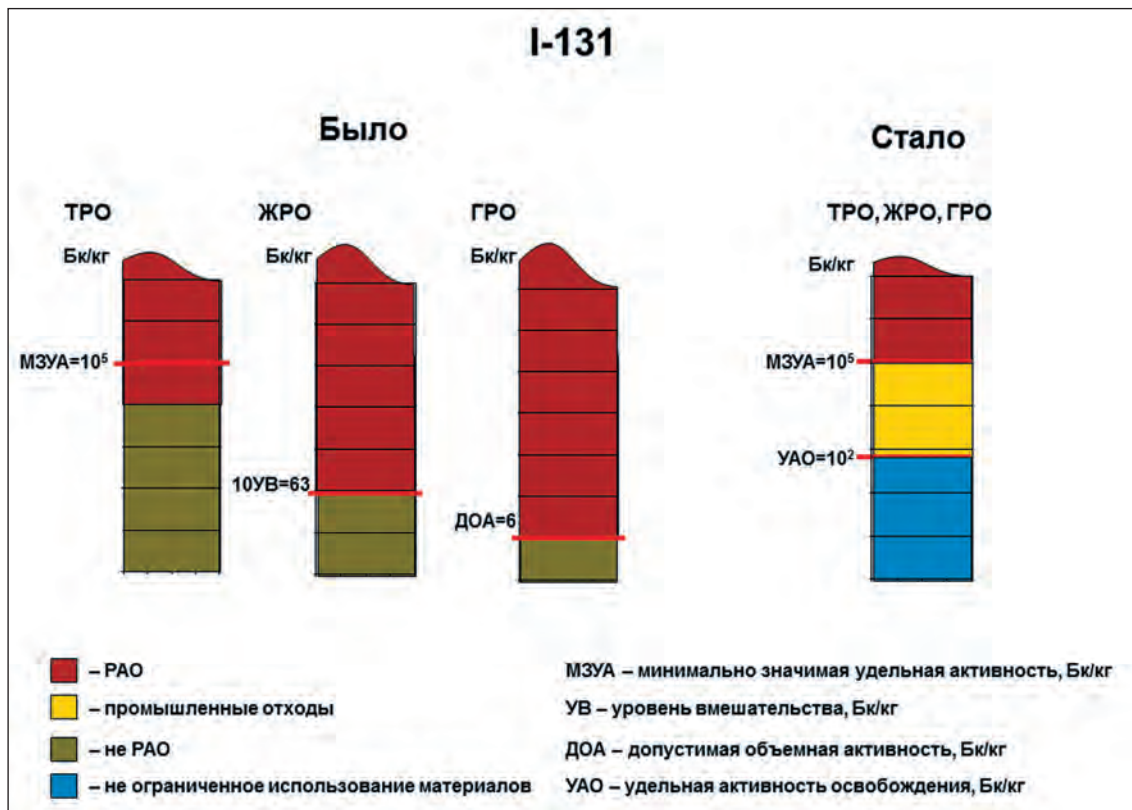


Рис. 1.2. Классификация материалов, содержащих <sup>131</sup>I, до и после введения ОСПОРБ–99/2010

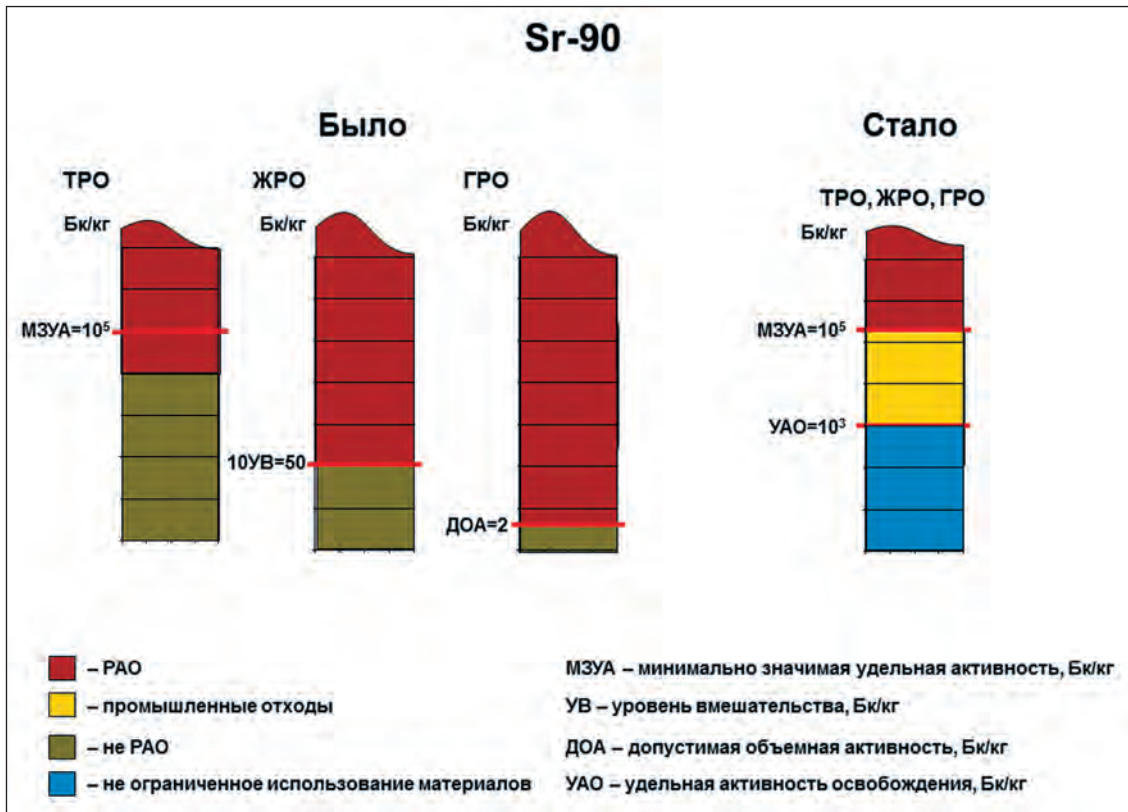


Рис. 1.3. Классификация материалов, содержащих <sup>90</sup>Sr, до и после введения ОСПОРБ–99/2010

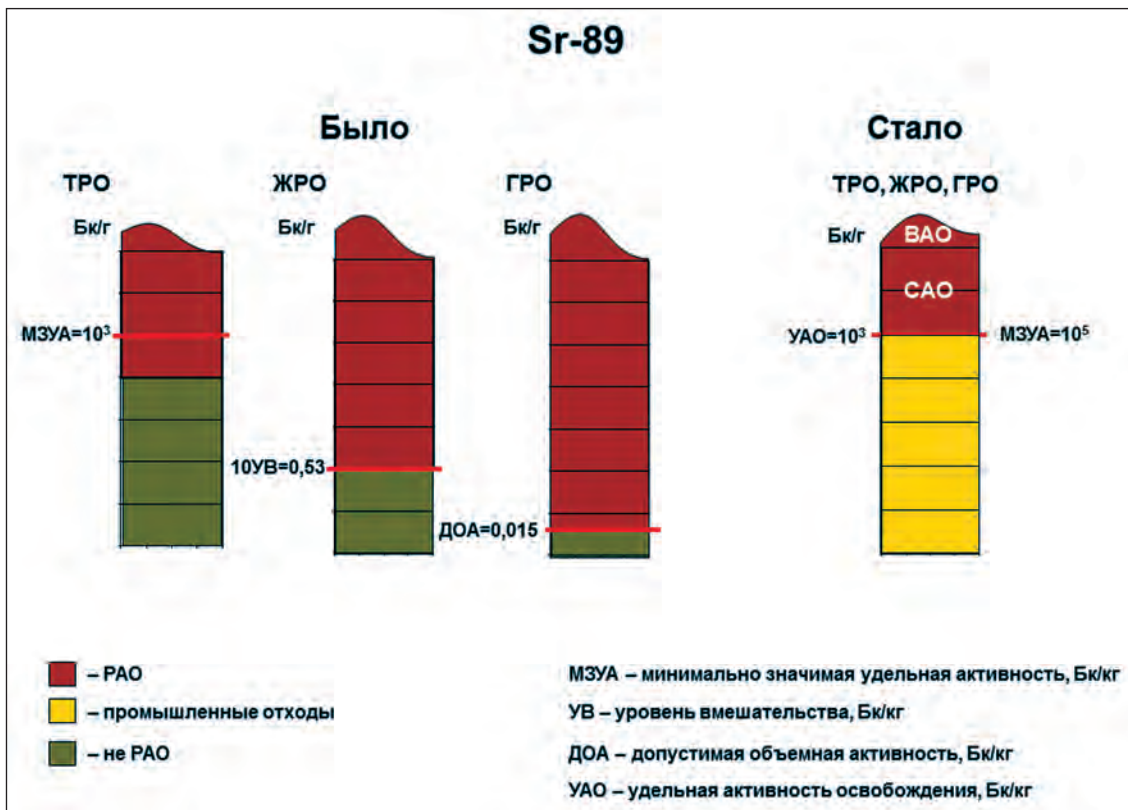


Рис. 1.4. Классификация материалов, содержащих <sup>89</sup>Sr, до и после введения ОСПОРБ–99/2010

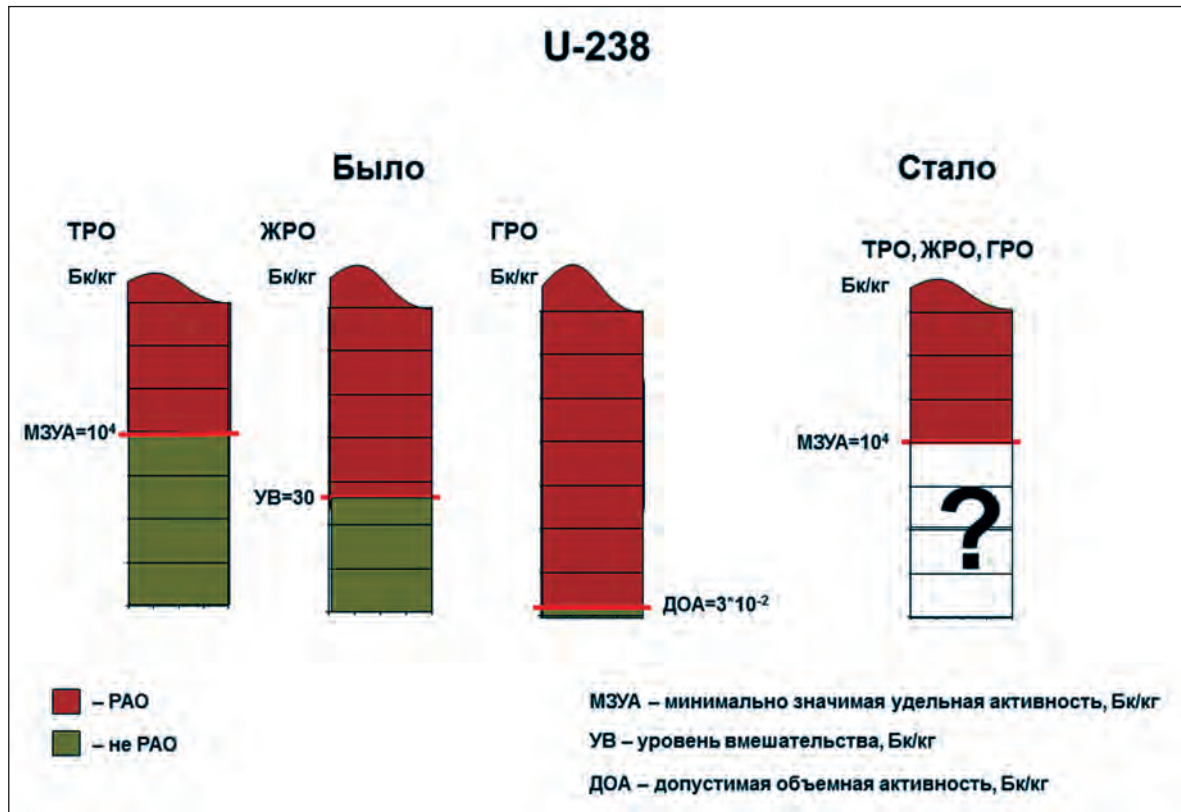


Рис. 1.5. Классификация материалов, содержащих  $^{238}\text{U}$ , до и после введения ОСПОРБ–99/2010

К низкоактивным относятся радиоактивные отходы, для которых содержание бета-излучающих радионуклидов меньше, чем 1000 Бк/г, а к среднеактивным радиоактивным отходам — для которых содержание бета-излучающих радионуклидов от 1000 до 10 000 000 Бк/г, т. е. для  $^{89}\text{Sr}$  мы имеем магическое число в **1000 Бк/г**, от которого шаг в сторону — и совершенно разная ситуация: от неограниченного использования до среднеактивных радиоактивных отходов.

Теперь представим, что такая жидкость с концентрацией в 999 Бк/кг была продана (передана), например, фермеру для обработки посадочного материала или садового инвентаря. Если в процессе работы произошло частичное испарение воды из раствора, концентрация  $^{89}\text{Sr}$  выросла, и раствор автоматически превратился в среднеактивные жидкие радиоактивные отходы со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Иными словами, в отношении  $^{89}\text{Sr}$  установлена единая величина в 1000 Бк/г, которая одновременно является границей между:

- уровнем освобождения от регулирующего контроля и производственными радиоактивными отходами;
- между производственными радиоактивными отходами и РАО;
- между низкоактивными и среднеактивными РАО.

### Пример 3.

П.3.11.1 «Материалы и изделия с низкими уровнями содержания техногенных радионуклидов допускается использовать в хозяйственной деятельности. Критерием для принятия решения о возможном применении в хозяйственной деятельности сырья, материалов и изделий, содержащих радионуклиды, является ожидаемая индивидуальная

годовая эффективная доза облучения, которая при планируемом виде их использования не должна превышать 10 мкЗв».

Этот пункт ОСПОРБ–99/2010, по-видимому, можно и нужно было бы оспорить в Конституционном Суде, поскольку он ставит российских граждан в неравные условия. В самом деле, государство, позволяя одним производителям товаров и услуг облучать граждан исходя из одних критериев, в отношении других производителей и граждан устанавливает совершенно иные критерии.

Так, согласно п. 5.3.2 НРБ–99/09. «При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы ... мощность эффективной дозы гамма-излучения не превышала мощность дозы на открытой местности более чем на  $0,2 \text{ мкЗв/ч}$ ». При этом нет необходимости исследовать, какими именно радиоактивными веществами формируется такая мощность дозы. Т. о. для гражданина, постоянно пребывающего в помещениях, построенных после 2010 г., допускается дополнительно получать ежегодно  $0,2 \cdot 24 \cdot 365 = 1752$  мкЗв.

Заметим также, что облучающегося гражданина никто даже в известность об этом не ставит, тогда как рентгенологи должны выдавать справку о дозе, полученной, например, при лечении зубов или флюорографии, где пациент за один раз получает дозу облучения в 50–100 мкЗв.

В некоторых случаях человек может осознанно сделать выбор, соотнеся риски и пользу. Так, собираясь совершить перелет на самолете, человек чаще всего осознанно идет на получение дополнительной дозы облучения, в подавляющем большинстве случаев превышающей 10 мкЗв. Но вот использовать гражданину некоторые материалы, содержащие, к примеру, глобальный или аварийный изотоп  $^{137}\text{Cs}$  в концентрациях, которые могут превышать дозу облучения этого гражданина выше 10 мкЗв/год, ему запрещено, даже если он осознанно согласен идти на подобный риск, т. е. он не может построить себе баню или сарай из более дешевой местной древесины, если будут превышены эти консервативно расчетные 10 мкЗв, в то время как другой более удачливый предприниматель спокойно может сдать этому гражданину дом, изготовленный из материалов, которые создадут в 170 раз большую годовую дозу. Такое противоречие законодательных актов одного уровня создает прецеденты неравноправия.

#### Пример 4.

Термин «газообразное радиоактивное вещество» требует своего более полного раскрытия, поскольку это вещество может существовать как среда (условно бесконечное пространство) и как вещество, заключенное в некоторый контеймент. Так, например, мы имеем газообразный тритий (НТ), заключенный в некотором объеме воздуха и в оболочке. Понятно, что контейнер может быть выбран таким образом, что доза от мягкого  $\beta$ -излучения трития за пределами оболочки будет много меньше 10 мкЗв/год. Этот воздух с примесью трития (сырье):

- не будет считаться радиоактивным отходом, если концентрация трития не превысит  $\text{МЗУА} = 1000\ 000 \text{ Бк/г}$ ;
- будет безопасным с точки зрения его использования в хозяйственной деятельности, если его концентрация НТ в оболочке будет ниже  $\text{УАО} = 100 \text{ Бк/г}$  (приложение 3);
- в промежутке значений УАО и МЗУА вещество требует специального обращения, и после своего использования, скорее всего, будет относиться к производственным отходам.

Приобретая такое сырье с концентрацией НТ ниже 100 Бк/г (т. е. не требующее лицензии на работу с радиоактивным веществом), например, для заполнения некоего



хранилища тепличной рассады растений (выращивания мицелия и т. п.), предприниматель, согласно ОСПОРБ–99/2009, совершенно не обязан думать о вредном воздействии радиации на персонал, обслуживающий данное помещение.

Тем не менее, в замкнутом помещении в результате применения этого «безопасного для хозяйственного использования» сырья концентрация трития в воздухе может быть близка к той, что была в купленном товаре, например составлять 50 Бк/г воздуха. Объемная концентрация трития в таком помещении составит около 60 кБк/м<sup>3</sup>. Если работник проводит в таком помещении 4 часа в день, а количество рабочих дней в году 250, то за год работник вдохнет примерно 1000 м<sup>3</sup> воздуха или 60 МБк трития. Умножая это количество на дозовый коэффициент равный  $2,7 \cdot 10^{-10}$  Зв/Бк, получим годовую эффективную дозу в 16,2 мЗв, что находится в явном противоречии с федеральным законом «О радиационной безопасности населения» (ст. 9). При этом никто не будет информирован о радиационном воздействии, и ситуация будет вне всякого контроля со стороны санитарных служб.

Этот вывод будет аналогичным в отношении многих радиоактивных элементов, находящихся в произвольной газовой среде, т. е. использование такого газового сырья, не запрещенного к хозяйственному использованию ОСПОРБ–99/2010, приведет к нарушению законодательства РФ.

**Ряд других потенциально возможных ситуаций:**

- орошение пищевых культур: невозможность реализации продукции;
- орошение пастбищ: невозможность реализации продукции;
- орошение технических культур в течение нескольких лет с интенсивностью до 10 л/м<sup>2</sup>: загрязнение почвы до уровня РАО;
- орошение газонов и декоративных посадок: загрязнение почвы до уровня РАО;
- использование в качестве затворяющей жидкости (бетон и др.) — возможно, если найдутся покупатели;
- мойка машин: образование РАО в очистных сооружениях;
- пожарные водоемы.

Отметим, что, по-видимому, во всех приведенных ситуациях и потенциальных не рассмотренных сценариях доза облучения человека не превысит уровень, резко увеличивающий вероятность возникновения раковых заболеваний (100 мЗв/год), однако законодательно установленный предел дозы (1 мЗв/год) может быть превышен в десятки раз.

**Экономический аспект и практическая необоснованность новых требований**

ОСПОРБ–99/2010 включают ряд обязательных для исполнения требований по обращению с материалами и средами, содержащими радиоактивные вещества. Эти требования не соответствуют принципам обоснования и оптимизации.

***Требование обязательного отверждения жидких радиоактивных отходов***

В ОСПОРБ–99 указывалось, что жидкие РАО следует «по возможности концентрировать и отверждать» (табл. 1.4). В ОСПОРБ–99/2010 содержатся указания об обязательном отверждении жидких радиоактивных отходов. В то же время на трех крупных предприятиях ядерного комплекса России осуществляется законная практика закачки жидких радиоактивных отходов в геологические пласты-коллекторы, доказавшая свою безопасность на протяжении более чем 40 лет. Может ли быть принято

**Отверждение жидких радиоактивных отходов**

Норма	Содержание	Комментарии
Нормы МАГАТЭ	В основных документах [1–8] прямое требование отсутствует	Практика безопасного захоронения ЖРО реализуется только в России
ОСПОРБ–99/2010	«Жидкие радиоактивные отходы и жидкие производственные отходы... <b>следует концентрировать и отверждать...</b> » – п. 3.12.10. Дополнительно в [10] указано: «Обязательным требованием является отверждение жидких РАО»	Требование не реализуемо в течение, по крайней мере, 10–20 лет. Всем крупным предприятиям отрасли будут предъявляться претензии (ст. 6.3 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях – не производится отверждение ЖРО или производится закачка ЖРО)
ОСПОРБ–99	«Жидкие радиоактивные отходы... <b>следует, по возможности, концентрировать и отверждать...</b> » – п. 3.12.10	

решение о ее запрете без учета базовых принципов радиационной защиты (оценки безопасности, стоимости трансформации схем обращения на этих трех предприятиях и рисков, связанных с подобной трансформацией)? Конечно, нет, и приходится констатировать, что принципы обоснования и оптимизации разработчиками ОСПОРБ–99/2010 не учитывались. Подобные решения должны приниматься на существенно более высоком уровне.

Вопрос о допустимости закачки ЖРО в геологические пласты-коллекторы, в частности, рассматривался в Государственной Думе и Совете Федерации Федерального Собрания Российской Федерации в рамках подготовки законопроекта «Об обращении с радиоактивными отходами» ко второму чтению существенно более детально, с привлечением ведущих специалистов различных ведомств. По результатам рассмотрения этого вопроса было принято достаточно взвешенное решение о целесообразности некоторого ограничения подобной практики на уже действующих полигонах.

***Раздельный сбор жидких производственных и жидких радиоактивных отходов***

Существующая практика, в том числе на таких объектах использования атомной энергии, как АЭС, предполагает разделение систем на: 1) не содержащие образовавшихся в результате эксплуатации объекта техногенных радионуклидов на уровнях, превышающих фоновые значения («чистые») и 2) содержащие их (в том числе ко второй категории относились и РАО) (табл. 1.5). Подтверждение этому — п. 4.1.4. НП-002-04 («В проекте должно быть предусмотрено разделение систем обращения с РАО и систем, не содержащих радиоактивных веществ»), НП-019-2000, СП АС-03, СПП ПУАП-03, НП-058-04, РБ-014-2000.

ОСПОРБ–99/2010 требует (п. 3.12.10) отдельного обращения с жидкими средами, содержащими радионуклиды на уровнях от значений, приведенных в Приложении 3, до МЗУА, и отдельного обращения с ЖРО, содержащими РВ на уровнях от МЗУА и выше (п. 3.12.10). Этот же пункт требует их концентрировать, что в боль-

**Введение категории жидких промышленных отходов,  
содержащих техногенные радионуклиды, и установление требования отдельного обращения**

Норма	Содержание	Комментарии
Нормы МАГАТЭ	Данная категория не применяется	Применяются концепции исключения, изъятия и освобождения от контроля [3]. Исключение – в принципе не может регулироваться. Изъятие – определение источников и видов практической деятельности, на которые не распространяется регулирующий контроль. Освобождение – для снятия с регулирующего контроля твердых материалов, находящихся под действие регулирующего контроля
ОСПОРБ–99/2010	3.12.10. Жидкие радиоактивные отходы и жидкие производственные отходы с содержанием техногенных радионуклидов выше значений, приведенных в приложении 3 Правил, собираются по отдельности в специальные ёмкости. Их следует концентрировать и отверждать на объекте, где они образуются, или в организации по обращению с радиоактивными отходами	Требование о отдельном обращении с жидкими радиоактивными отходами и жидкими производственными отходами, содержащими техногенные радионуклиды, трудно реализуемо и бессмысленно, поскольку при их концентрировании будут образовываться РАО. Реализуемые в настоящее время проекты, в том числе АЭС, могут быть остановлены на стадии санитарно-эпидемиологических заключений как не соответствующие требованиям ОСПОРБ–99/2010. Критический срок – 2012 год, когда другие документы (СПОРО-2002) будут приведены в соответствие с ОСПОРБ–99/2010
ОСПОРБ–99	Данная категория не применялась	

шинстве случаев будет приводить к переходу жидких промышленных отходов в ЖРО, а затем в ТРО (рис. 1.6).

В какой степени обоснованы требования по отдельному обращению с жидкостями, содержащими радиоактивные вещества в разных концентрациях? На поиск технических решений по разделению жидкостей, содержащих, например, менее и более 1 Бк/г  $^{90}\text{Sr}$ , могут быть потрачены многие миллиарды рублей. При этом, как уже отмечалось, жидкие промышленные отходы могут стать жидкими радиоактивными и т. д. Таким образом, новые требования полностью бессмысленны и практически не реализуемы.

Помимо этого, организация выделенного обращения с жидкими производственными отходами затруднена тем, что соответствующий диапазон активностей очень узок и неполон (рис. 1.7):

- он установлен только для 50% радионуклидов (желтый цвет);
- для 35% радионуклидов ширина диапазона равна нулю (отсутствие желтого цвета);
- для 15% не определена нижняя граница диапазона (отсутствие зеленого цвета).

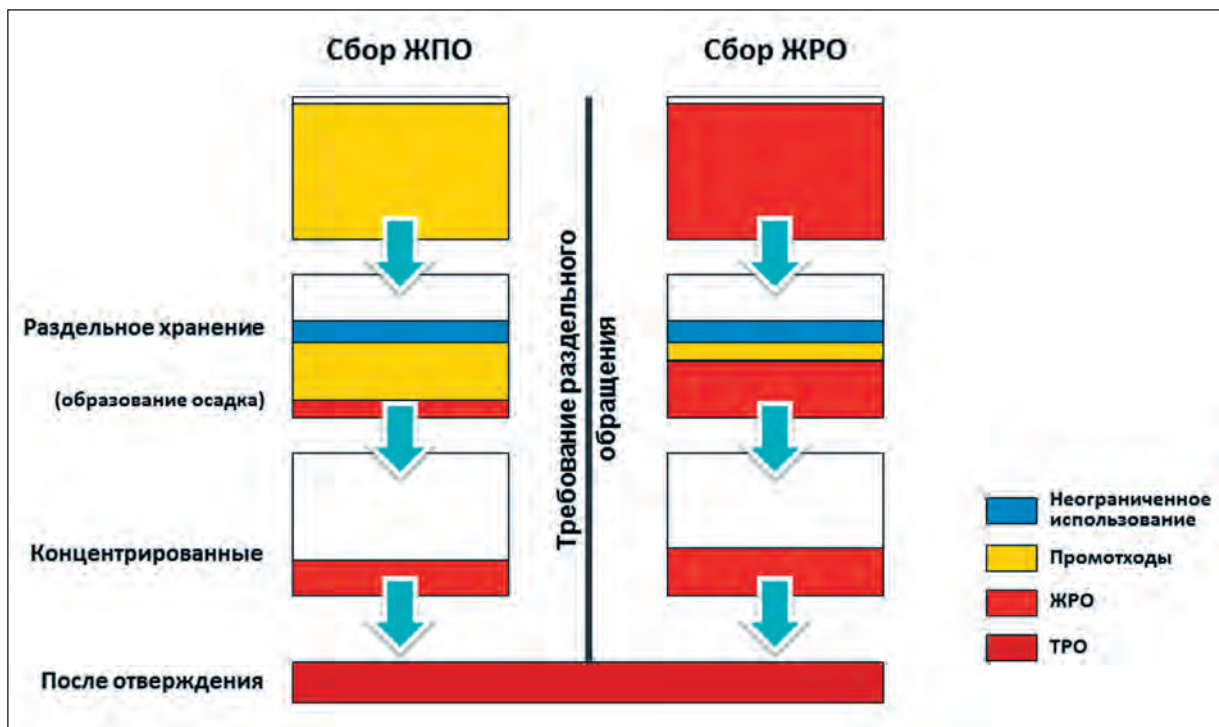


Рис. 1.6. Раздельный сбор, концентрирование и отверждение ЖПО и ЖРО приводят к образованию ТРО

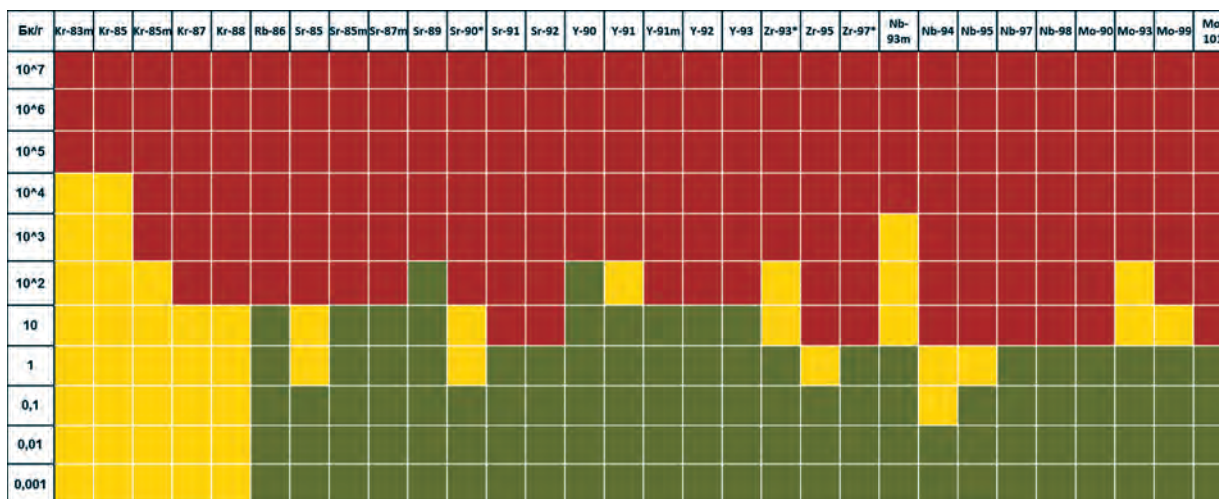


Рис. 1.7. Диапазон значений концентраций некоторых радионуклидов для РАО (красный цвет), производственных отходов (желтый) и материалов, освобождающихся от регулирующего контроля (зеленый)



**Снятие запрета на сброс в хозяйственно-бытовую канализацию**

В соответствии с положениями ОСПОРБ–99/2010, для значений удельной активности радионуклидов ниже, приведенных в:

- приложении 3 к ОСПОРБ–99/2010 — не вводится никаких ограничений на использование в хозяйственной деятельности (кроме продовольственного сырья, пищевой продукции, питьевой воды и кормов для животных) (п. 3.11.3);
- приложении 4 к НРБ–99/2009 — устанавливаются нормативы на допустимые выбросы и сбросы в окружающую среду (пп. 3.12.5, 3.12.11).

Процедура получения разрешений на сбросы и выбросы радионуклидов в окружающую среду будет представлена в соответствующем документе Ростехнадзора. Если же сточные воды в результате хозяйственной деятельности организации попадают не в водный объект, а в систему канализации (например, медицинское учреждение, использующее радиоактивные источники), то возникающие в этом случае правоотношения регулируются уже не природоохранным законодательством, а гражданско-правовым договором с организацией водопроводно-канализационного хозяйства, которая производит очистку смешанных сточных вод и только после этого сбрасывает их в водный объект.

Поскольку в ОСПОРБ–99/2010 по сравнению с ОСПОРБ–99 исключен запрет на сброс жидких производственных отходов (табл. 1.6), содержащих радионуклиды, и ЖРО в хозяйственно-бытовую и ливневую канализацию, то единственным способом снижения рисков в данной ситуации является радиационный контроль со стороны организаций водопроводно-канализационного хозяйства. Но это только контроль, без механизмов управления. Таким образом, снятие запретительного ограничения при-

Таблица 1.6

**Возможность сброса жидкостей, содержащих радиоактивные вещества,  
в общую канализацию**

Норма	Содержание	Комментарии
Нормы МАГАТЭ	Освобождение от регулирующего контроля только через сбросы и выбросы и отверждение.	
ОСПОРБ–99/2010	Отсутствует прямой запрет на сброс жидкостей, содержащих радиоактивные вещества, в хозяйственно-бытовую и ливневую канализацию	Норма фактически отменила запрет на сброс техногенных радионуклидов в объекты окружающей среды для тех предприятий, у которых нет «своей трубы», в водоем или водоток (например, научные и медицинские учреждения). Для стронция-90, например, это допускается при концентрации 999 Бк/л. <b>На коммунальных очистных сооружениях будут образовываться радиоактивные илы</b>
ОСПОРБ–99	Запрещается сброс жидких радиоактивных отходов в хозяйственно-бытовую и ливневую канализацию — п. 3.12.11	При старых границах ЖРО 50 Бк /л для стронция-9

водит к еще одному значимому и трудно устранимому пробелу в обеспечении ядерной и радиационной безопасности.

*Пример.* Когда действовал ОСПОРБ–99, вода с содержанием  $^{90}\text{Sr}$  выше 50 Бк/л считалась РАО, что в ряде случаев приводило к загрязнению илов в хозяйственной канализации на уровне 100 кБк/кг, т. е. в этом случае коэффициент накопления  $^{90}\text{Sr}$  достигал значений 2000 л/кг. Ныне при незапрещенном сбросе до 1000 Бк/л мы можем ожидать загрязнение илов на уровне 2000 кБк/кг и, следовательно, они будут относиться к среднеактивным радиоактивным отходам.

Для многих других радионуклидов ситуация еще более сложная. Так для  $^{89}\text{Sr}$  разрешенная концентрация в воде совпадает с границей отнесения к САО, а образующиеся илы почти вплотную могут подходить к границе ВАО.

### ***Введение запрета на разбавление***

Пункт 3.12.17 ОСПОРБ–99/2010 запрещает разбавление ЖРО в целях снижения их активности.

Во-первых, речь должна идти об «удельной активности», иначе указанное требование бессмысленно — активность радионуклида как одна из мер его количества при разбавлении не уменьшается.

Во-вторых, этот запрет может быть признан рациональным только в увязке с низкоактивными отходами, когда после разбавления может быть осуществлен их сброс в окружающую среду. Как, например, в «Правилах обеспечения безопасности при временном хранении радиоактивных отходов, образующихся при добыче, переработке и использовании полезных ископаемых (НП-052-04)»: «5.11. ***При сборе РАО не допускается разбавление ЖРО водой и смешивание ТРО с нерадиоактивными отходами с целью снижения их удельной активности***». Или в документе «Обеспечение безопасности при обращении с радиоактивными отходами, образующимися при добыче, переработке и использовании полезных ископаемых (РБ-014–2000)»: «5.2.2. ***Система обращения с ЖРО должна быть спроектирована таким образом, чтобы исключалась возможность разбавления ЖРО нерадиоактивными водами и возможность смешивания ЖРО разных категорий по удельной активности, химическому составу и фазовому состоянию***».

В то же время, как уже отмечалось выше, разбавление ЖРО часто является вынужденной операцией, необходимой, например, для подготовки к цементированию ЖРО, а также при освобождении емкостей от ЖРО в виде тяжелых пульп и т. д.

Защита окружающей среды полностью реализуется при введении допустимого сброса радионуклида (за год) и ограничений, накладываемых на максимальную концентрацию радионуклида в сбросных водах. Таким образом, это нововведение также ничего практически значимого для обеспечения безопасности не дает, неграмотно изложено и может в ряде случаев создать практические сложности при реализации многих технологических процессов.

### **Рекомендации**

Предлагается внести следующие изменения в ОСПОРБ–99/2010:

- Удельные активности техногенных радионуклидов, при которых допускается неограниченное использование материалов, применять только для веществ в отвержденном виде в соответствии с Приложением 3 в ОСПОРБ–99/2010 и Приложением 4 НРБ–99/2009 в части природных радионуклидов.

- Снизить уровни отнесения материалов и веществ к категориям жидких и газообразных радиоактивных отходов (см. раздел 1.2.3).
  - Исключить категорию производственных отходов, содержащих техногенные радионуклиды.
  - Обязательность отверждения жидких радиоактивных отходов и жидких производственных отходов, содержащих техногенные радионуклиды, сохранить только для случаев, когда принятые схемы полного цикла обращения с ними не соответствуют нормам радиационной безопасности. Это позволит сохранить существующую практику закачки ЖРО.
  - Запрет сброса жидких радиоактивных отходов (в терминах новой категоризации — жидких сред, содержащих радионуклиды) в хозяйственно-бытовую и ливневую канализацию — восстановить.
  - Запрет «на разбавление жидких радиоактивных отходов с целью снижения их активности» изменить в связи с некорректностью используемой формулировки.
- С учетом проведенного анализа еще раз можно констатировать следующее:

1. Неограниченное использование жидких и газообразных сред с содержанием техногенных радионуклидов на уровнях, ниже предусмотренных Приложением 3, но близких к ним, безопасным не является. Установление единого норматива на содержание вредных веществ в средах, находящихся в различных агрегатных состояниях (твердые, жидкие и газообразные), нехарактерно для практики санитарно-гигиенического нормирования и абсолютно неправомерно по сути.

Режим контроля за обращением с материалами, содержащими радиоактивные вещества на уровнях, ниже установленных Приложением 4 к НРБ–99/2010, в рамках системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов будет существенно ослаблен.

2. В части выполнения международных обязательств Российской Федерации.

В соответствии со взятыми в рамках Объединенной конвенции о безопасности обращения с ОЯТ и о безопасности обращения с РАО обязательствами, Российская Федерация в 2012 году представила третий Национальный доклад об их выполнении. Национальные доклады рассматривает Совещание договаривающихся сторон. Предусмотренные при этом процедуры неизбежно выявили полное несоответствие реализованного в рамках ОСПОРБ–99/2010 подхода принятым международным стандартам и вызвали как минимум два принципиальных замечания:

- использование значений уровней удельной активности, обоснованных для твердых отходов, в качестве критериев для отнесения веществ к жидким и газообразным радиоактивным отходам неправомерно;
- радикальное сокращение инвентарных списков и объемов (более чем в 90 раз) накопленных в Российской Федерации жидких радиоактивных отходов не сопровождалось должными мерами по обеспечению безопасности при обращении с ними.

3. Практическая применимость и целесообразность.

Ряд нововведений может быть отнесен к практически не реализуемым на существующих в России предприятиях атомного комплекса, например положения об обязательном отверждении образующихся РАО (п. 3.12.10), о запрете на разбавление жидких радиоактивных отходов в целях снижения их активности и др.

Кроме того, в Приложении 3 ОСПОРБ–99/2010 отсутствуют данные для большого количества радионуклидов, в том числе для изотопов урана, что делает, в част-

ности, невозможным определением категории освобождения от регулирующего контроля отходов, образующихся на предприятиях по добыче и переработке урановых руд и изготовлению ядерного топлива.

В связи с вышеизложенными обстоятельствами целесообразно до начала рассмотрения зарубежными странами очередного Национального доклада Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Объединенной конвенции, оперативно пересмотреть ОСПОРБ–99/2010, предусмотрев как минимум:

- ограничение раздела 3.12 «Обращение с радиоактивными отходами» ссылками на отдельные документы (реализовав при этом основные санитарные правила обращения с РАО в отдельном документе);
- распространение действия п. 3.11.3 только на вещества в твердом агрегатном состоянии.

Завершая рассмотрение вопросов регулирования безопасности обращения с РАО в Российской Федерации, отметим два обстоятельства.

Начиная с 1960-х годов и вплоть до 2010 года, в Российской Федерации действовала система документов, которая в принципе обеспечивала безопасность населения и окружающей среды. Однако эта система требований никогда не содержала требований по доведению всех радиоактивных отходов до состояния, пригодного для захоронения, и собственно требования безопасного захоронения всех видов РАО. При этом определенная практика захоронения велась, в том числе по приповерхностному захоронению отходов низкой активности и закачке ЖРО в пласты коллекторы.

В период 2010–2011 годов в практике регулирования обращения с РАО сформировалась крайне противоречивая ситуация, которая может быть принципиально изменена в связи с вступлением в силу №190 ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

## Литература

1. Объединенная конвенция о безопасности обращения с ОЯТ и о безопасности обращения с РАО. МАГАТЭ, INFCIRC/546, 21.06.2001.
2. Classification of radioactive waste: safety guide. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2009. p.; 24 cm. (IAEA safety standards series, ISSN 1020–525X ; no. GSG-1).
3. Руководство №RS-G-1.7. Применение концепций исключения, изъятия и освобождения от контроля. МАГАТЭ, 2001.
4. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения, IAEA, BSS-115. 1996.
5. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES; Principles and Methods for Establishing Concentrations and Quantities (Exemption Values) below Which Reporting Is Not Required in the European Directive, Radiation Protection 65, Doc. XI-028/93, CEC, Brussels, 1993.
6. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Derivation of Activity Concentration Levels for Exclusion, Exemption and Clearance, draft report, IAEA, Vienna, 2004.
7. European Commission. Radiation Protection № 122. Guidance on General Clearance Levels for Practices. Directorate-General Environment. 2000.
8. European Commission. Radiation Protection № 157. Comparative Study of EC and IAEA Guidance on Exemption and Clearance Levels. Directorate-General for Energy. 2010.
9. Баторшин Г.Ш. Стратегия обращения с жидкими радиоактивными отходами на ПО «Маяк» // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. 2011. №1. С. 88–93.
10. Письмо Роспотребнадзора от 01.10.2010 г. №01/14140-0-32. О нормировании радиоактивных отходов в ОСПОРБ–99/2010.



## ПРИЛОЖЕНИЕ 2. (Досье 2005)

### Исследования агентства Andra по геологическому захоронению долгоживущих высокоактивных отходов. Результаты и перспективы

#### Изучение глубинного захоронения радиоактивных отходов

Национальное агентство Франции по обращению с радиоактивными отходами (ANDRA) — это государственное учреждение, занимающееся долгосрочным контролем за всеми радиоактивными отходами, образующимися во Франции. Оно находится



*Общий вид исследовательской лаборатории Мёз/Верхняя Марна*

под опекой министерств Промышленности, Науки и Охраны окружающей среды. Агентство эксплуатирует центры захоронения наиболее низкоактивных отходов, возглавляет научно-исследовательские программы по изучению глубинного захоронения высокоактивных отходов или отходов с очень долгим сроком жизни. Наконец, ANDRA занимается инвентаризацией радиоактивных отходов и предоставляет общественности фактическую и достоверную информацию.

В соответствии с принципом «загрязнитель платит» агентство финансируют производители радиоактивных отходов (атомные электростанции, заводы по переработке отработанного ядерного топлива, исследовательские лаборатории, больницы) пропорционально количеству производимых ими отходов.

Таким образом, ANDRA возлагает на себя ответственность за обеспечение защиты человека и окружающей среды от рисков, связанных с радиоактивными отходами.

#### *Правовая база*

Согласно закону от 30 декабря 1991 года, на ANDRA возложена задача оценить, насколько реализуемо обратимое глубинное захоронение долгоживущих высокоактивных отходов, в частности путем создания подземных лабораторий. Исследованию подлежат две геологические породы: **глина** и **гранит**.

Комиссариат по атомной энергии (CEA) возглавляет два других направления исследований: разделение долгоживущих радионуклидов, связанное с сокращением срока жизни наиболее токсичных из них (трансмутация); кондиционирование и длительное приповерхностное хранение.

В законе говорится о необходимости работать в строгом соответствии с правилами «охраны природы, окружающей среды и здоровья людей» и «учитывать права бу-

душих поколений», т. е. оставлять им в наследство не безвыходную проблему, а возможность управлять начатым процессом. Уточняется также, что по истечении периода сроком не более 15 лет правительство должно будет направить в парламент доклад с оценкой этих исследований и законопроект.

### *Задачи научных исследований агентства*

Целью изучения реализуемости подземного захоронения является оценка того, каким образом было бы возможно построить, эксплуатировать и контролировать обратимое захоронение в полной безопасности для людей и окружающей среды.

В связи с этим в задачи ANDRA входит:

- Глобальная роль координатора, направляющего исследования и руководящего сообществом ученых и инженеров, задействованных в этой области.
- Собственно исследовательская роль. Для исследований глинистой породы ANDRA располагает подземной лабораторией Мёз/Верхняя Марна в городе Бюр. Что касается гранита, то агентство не имеет пока в своем распоряжении подземной лаборатории, но ведет работы, которые позволят оценить возможность использования гранитных пород Франции. Важный вклад в изучение обеих пород вносят зарубежные подземные лаборатории (Швейцарии, Бельгии, Швеции). Помимо этого ANDRA проводит исследования, связанные с комплексным проектированием и безопасностью.

### *Контроль и оценки*

**Национальный экспертный совет (CNE)**, учрежденный законом от декабря 1991 г., включает в себя французских и зарубежных научных экспертов. Он анализирует исследования CEA и ANDRA и каждый год публикует отчет. Чтобы информационно обеспечить парламентские дебаты 2006 года, он готовит глобальный отчет о результатах исследований. Вместе с тем министерство, занимающееся исследованиями, контролирует и координирует работу обеих организаций. Этот механизм дополняется участием **надзорного органа — Агентства по ядерной безопасности (ASN)** — и **Института радиационной защиты и ядерной безопасности (IRSN)**, осуществляющих техническую поддержку.

### *О каких отходах идет речь?*

Долгоживущие высокоактивные отходы включают две категории.

**Высокоактивные отходы (категория С)** представляют собой 1% от общего объема радиоактивных отходов, образующихся во Франции, но это источник 96% активности. К ним относятся материалы, не подлежащие повторному использованию, полученные в результате переработки отработанного топлива атомных электростанций. Эти отходы выделяют тепло в течение многих десятков лет. Поэтому необходимо предусмотреть



*Стандартный контейнер остеклованных отходов (СКОО" CSD-V)*



*Стандартный контейнер с отходами (CSD-C) в разрезе (модель)*



Схема исходного контейнера с остеклованными отходами категории С R7T7

некоторый срок промежуточного хранения, чтобы охладить их перед тем как поместить в хранилище.

Отходы категории С остекловываются, что позволяет в течение многих тысяч лет обеспечивать изоляцию радиоактивных веществ (стекло обладает высокой удерживающей способностью), а затем заливаются в емкости из нержавеющей стали.

**Долгоживущие среднеактивные отходы (категория В)** более разнообразны, к ним относятся металлы (контейнеры от топлива), производственные отходы, полученные при переработке загрязненных жидкостей, и оборудование, используемое при эксплуатации атомных электростанций. Их объем, как и их активность, составляет около 4% от всех радиоактивных отходов. Они выделяют мало тепла и либо спрессовываются, либо цементируются или битумируются. Затем их помещают в бетонные или стальные контейнеры.

**Использованное, но еще не переработанное топливо (ОЯТ)** не считается отходами, так как содержит ценные элементы (уран, плутоний), которые могут быть извлечены в результате переработки и повторно использованы.

Тем не менее, в исследованиях не исключается возможность непосредственного захоронения отработанного топлива в случае, если его больше не будут перерабатывать в будущем.

### **Как сейчас решается проблема радиоактивных отходов?**

Долгоживущие высокоактивные отходы, получаемые при производстве электроэнергии в EDF (Электроэнергетическая компания Франции), на заводах по переработке ОЯТ COGEMA, в исследовательских институтах Комиссариата атомной энергетики (CEA) или в результате деятельности министерства обороны Франции, на данный момент хранятся в местах их производства.



Временное хранилище отходов категории С

Большая часть высокоактивных отходов находится в ядерных центрах Ля Аг и Маркуль. Несмотря на то, что с ними обращаются в полном соответствии с правилами безопасности, срок жизни и потенциальная опасность таких отходов требуют особого решения. То есть, от существующих временных схем необходимо перейти к долговременным и надежным способам решения проблемы. Это и является целью исследований, проводимых в рамках закона от 1991 года.

### **Безопасность**

Между отходами и окружающей средой должны находиться эффективные барьеры, позволяющие изолировать или удерживать радиоактивные вещества и химические элементы, которые в них содержатся. Каждой категории отходов соответствует



свой способ хранения и своя система барьеров в зависимости от уровня активности и срока потенциальной опасности. В любом случае, захоронение основано на реализации принципа многошелонированной защиты: кондиционирование (в бочках с отходами или контейнерах), структура непосредственно объекта захоронения (ячейки, туннель) и геологический слой. 90% образовавшихся во Франции радиоактивных отходов (ОНАО, НАО и САО) уже захоронено в департаментах Манш и Об в соответствии с этим принципом.



*Центр захоронения низкоактивных и среднеактивных отходов в департаменте Об*

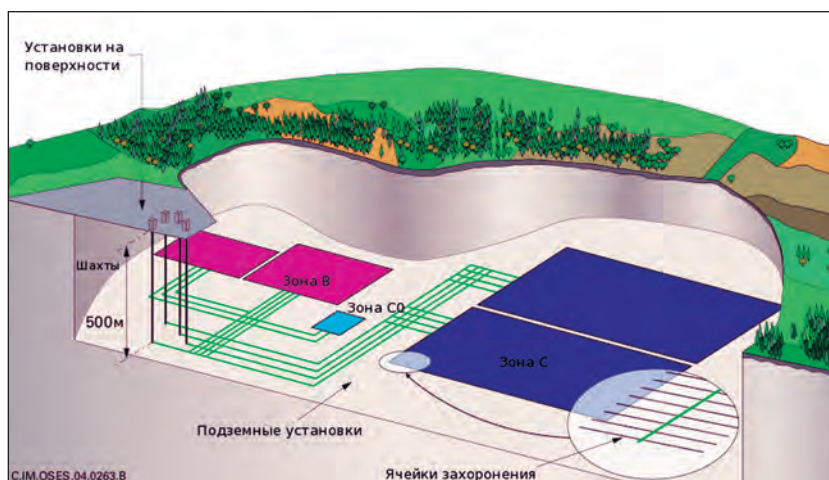
### ***Каковы объемы отходов, подлежащих захоронению?***

ANDRA провело учет накопленных отходов категорий В и С, а также дало приблизительные оценки объемов будущих отходов, основываясь на различных предположениях о переработке ОЯТ. Таким образом, исследования покрывают широкий спектр возможных ситуаций, не отдавая приоритета какому-либо конкретному решению в будущем. В зависимости от технологии переработки объем отходов категории В составляет от 70 000 до 80 000 м<sup>3</sup>, объем отходов категории С — от 2500 до 6300 м<sup>3</sup>.

### **Что следует понимать под надежным и обратимым захоронением?**

#### ***Надежность захоронения***

Захоронение имеет целью защитить человека и окружающую среду от возможных рисков, связанных с радиоактивными отходами. Оно также должно максимально ограничить предполагаемое радиационное воздействие. Поэтому ANDRA выбрало безопасный подход, который отдает предпочтение надежным захоронениям на очень длительные промежутки времени. Действительно, некоторые отходы остаются



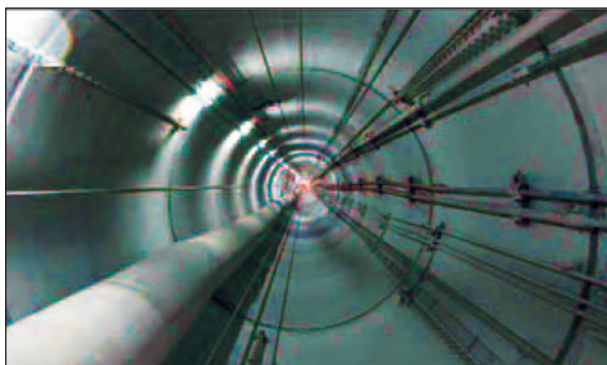
*Принципиальная схема архитектуры захоронения в процессе разработки*



радиоактивными в течение многих десятков тысяч лет и даже дольше. В частности, Агентство придает большое значение анализу неопределенностей, связанных с будущим захоронения радиоактивных отходов.

Исходя из этих принципов, захоронение должно отвечать трем требованиям:

- предотвращение циркуляции воды, так как вода может разрушить контейнеры и способствовать переносу радионуклидов;
- ограничение распространения радиоактивных веществ за счет конструкций упаковок, сохранение РАО в твердом виде максимально возможное время;
- замедление миграции радиоактивных веществ, которые, в конце концов, могут выйти из пункта захоронения или геологического слоя.



*Вид шахты, ведущей в подземную лабораторию Мёз/Верхняя Марна*

**Фундаментальные правила безопасности.** Фундаментальные правила безопасности, установленные в 1991 году Агентством по ядерной безопасности (ASN), формулируют первоочередные принципы, касающиеся площадок для глубинного захоронения:

- отсутствие риска сейсмической активности в долгосрочной перспективе;
- отсутствие существенных течений вод в области захоронения;
- возможность проведения горных работ в породе;
- свойства породы, способствующие удержанию радионуклидов;
- достаточная глубина, защищающая отходы от воздействия внешних факторов;
- отсутствие полезных ископаемых, которые можно добыть поблизости.

### ***Необходимость обратимости***

В законе от 1991 года говорится об обратимом и необратимом захоронении. С тех пор было решено двигаться исключительно в направлении первого.

Необходимость обратимости захоронения требует осторожного использования имеющихся на данный момент научных данных. Будучи связана с принципом принятия мер предосторожности, обратимость означает осмотрительное поведение, оставляющее возможность изменить принятые решения относительно захоронения радиоактивных отходов. Она подразумевает последовательный подход к проектированию, строительству, эксплуатации и закрытию захоронений, в том числе способы извлечения контейнеров из захоронения, в случае принятия другого решения.

### **В чем будет заключаться глубинное захоронение?**

При глубинном захоронении отходы размещают на глубинах порядка нескольких сотен метров. Цель — изолировать отходы от человека и окружающей среды на длительный срок, на время, пока их активность не уменьшится и не перестанет представлять опасность для населения. Таким образом, захоронение удерживает радиоактивные элементы, содержащиеся в отходах.

Концепция обратимого захоронения позволяет всегда иметь возможность управлять процессом. В частности, это позволит извлекать отходы в случае необходимости или если будет принято новое решение. Тем не менее, в перспективе такое захоронение должно иметь возможность постепенно стать пассивным захоронением, не требующим наблюдения и вмешательства человека, при тех же характеристиках в отношении безопасности.

### Какое время захоронение будет обратимым?

Захоронение остается обратимым в течение многих веков и не требует вмешательства человека, кроме обычной технической поддержки и наблюдения.

Вначале обратимое захоронение может быть использовано как временное хранилище с временным помещением и извлечением из него отходов. Постепенно его можно будет закрывать. ANDRA определило степени обратимости, соответствующие различным этапам закрытия захоронения. Агентство установило простые и надежные принципы захоронения и исследовало наиболее прочные материалы. Оно разработало механизмы, упрощающие извлечение контейнеров, и спроектировало подземные конструкции, находящиеся в независимых модулях, что дает возможность гибкого и динамичного подхода к управлению. Для отслеживания технической возможности обратимости была разработана программа наблюдений (измерение деформаций, температуры, давления, системы передачи данных, размещенные внутри установок). По мере уменьшения степени обратимости возможное изъятие отходов будет становиться все сложнее.

## Исследования по захоронению в глине

### Обширная исследовательская программа

Уже около пятнадцати лет ANDRA возглавляет исследовательскую программу по изучению захоронений в глине. Главный центр исследований — Подземная лаборатория в департаментах Мёз и Верхняя Марна, созданная на глубине 490 метров в самом центре очень твердой глинистой породы — аргиллита.



Буровая платформа

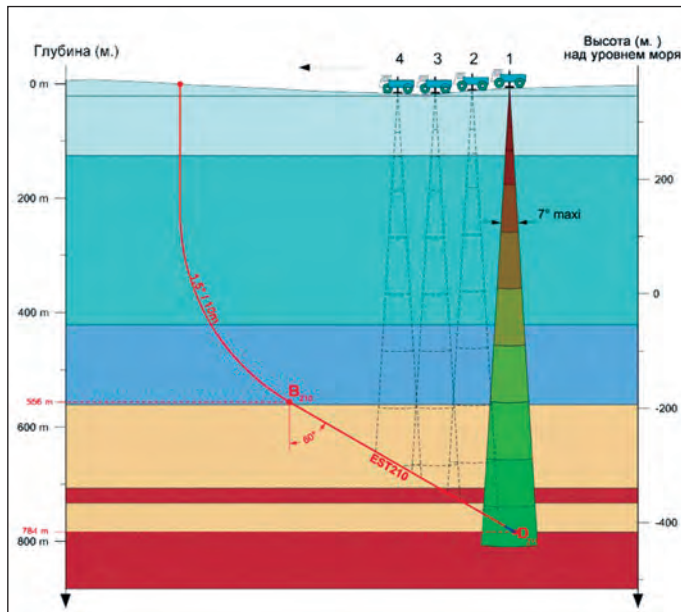
Этот геологический пласт (келловейско-оксфордский) очень стабилен с момента его образования более 150 миллионов лет назад.

С 2004 года, после многочисленных бурений, начатых в 1994, келловейско-оксфордский пласт, как и окружающие его слои, исследуется в недрах самой породы — в шахтах лаборатории. С ноября 2004 года на глубине 445 метров функционируют экспериментальные галереи. В них проводятся эксперименты, цель которых — проверка приобретенных сведений о данном участке.

Помимо бурения скважин с поверхности, анализа образцов и опытов под землей, исследовательская деятельность основывается также на работе подземных лабораторий за рубе-



Геологи, изучающие внутреннюю стенку экспериментальной галереи на глубине 445 м



Геофизическая разведка наклонным бурением

жом, в частности на результатах, полученных в лаборатории Мон Терри в Швейцарии.

Таким образом, агентству ANDRA удалось восстановить геологическую историю площадки Мёз/Верхняя Марна, что позволило сделать предположения насчет дальнейшего развития этой местности. Это представление служит основой моделирования, дающего возможность оценить функциональные показатели системы.

Помимо геологии, исследования проводятся в четырех дополнительных областях:

— поведение **упаковок и материалов**, чтобы понять, как эволюционирует захоронение в течение

- очень больших промежутков времени;
- **конструкция пункта захоронения** (кондиционирование отходов, архитектура захоронения, методы эксплуатации и обратимого закрытия);
- **эволюция захоронений**;
- **обеспечение безопасности** на долгий срок вперед.

Более десяти лет исследований — это:

- 1300 км изученных сейсмических профилей;
- 27 глубоких скважин;
- 4,2 км скважин, пробуренных с отбором керна;
- 2,3 км извлеченного керна аргиллита;
- 30 000 отобранных для анализа образцов;
- 100 м горизонтальных галерей;
- 40 м экспериментальных галерей;
- 40 скважин внутри галерей;
- и 350 датчиков.

### Досье «Глина 2005»



Картотека лаборатории Мёз/Верхняя Марна

Переданное государственным органам власти досье «Глина 2005» включает пять видов данных, которые объединяют все сведения о геологической среде и биосфере, материалах (сталь, бетон и т. д.), радиоактивных элементах, поведении отходов в захоронении и учет имеющихся и ожидаемых высокоактивных отходов, образующихся на существующих на данный момент ядерных установках.

На основе этих данных ANDRA представляет исследование в трех томах:

- проект структуры пункта захоронения и способа его



эксплуатации с точки зрения безопасности, промышленной реализуемости и обратимости;

- анализ эволюции захоронения, принимающий во внимание совокупность термических, гидравлических, механических и химических явлений, протекающих в окружающей среде в течение миллиона лет;
- оценка надежности захоронения и анализ рисков в стандартной ситуации или в ситуации с отклонениями.

### С какими научными учреждениями сотрудничало ANDRA?

Агентство работало с многочисленными французскими партнерами, среди которых: Французская геологическая служба (BRGM), Комиссариат по атомной энергии и альтернативным энергоисточникам Франции (CEA), Национальный центр научных исследований Франции (CNRS), Высшая национальная горная школа (Ecole des Mines de Paris), Французский институт нефти (IFP), Национальный институт изучения производственной среды и рисков (Ineris), Национальный политехнический институт Лотарингии (INPL), а также около сотни лабораторий.

В соответствии с исследовательскими интересами Агентства, лаборатории были объединены в семь групп по направлениям: коррозия металлов, глина, бетон, явления термогидромеханического характера, радиоактивные субстанции, геомеханика и биолого-геологический прогноз. Также было создано три объединения в рамках многолетней Программы поздней фазы цикла ядерной энергетики (PACEN — Programme sur l’Aval du Cycle et l’Energie Nucléaire) во главе с CNRS (FORPRO, PARIS, MOMAS).

На международном уровне Агентство сотрудничало с аналогичными организациями в Швейцарии, Испании, Германии и Бельгии, работает с Европейской комиссией, МАГАТЭ.

### Предоставляет ли ANDRA свои результаты на суд международных экспертов?

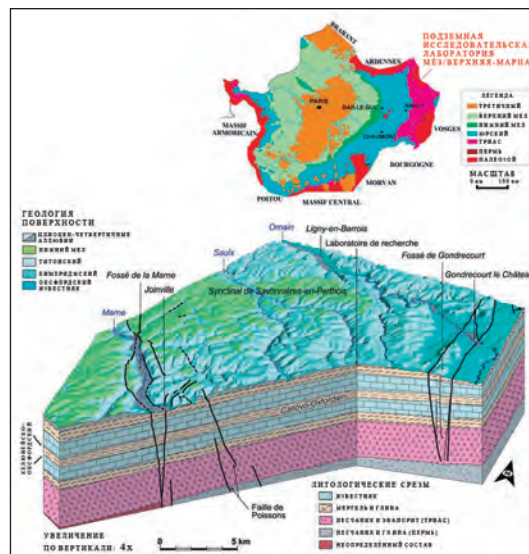
В 2001 году ANDRA выпустило первый обзор своих работ. Он был представлен на рассмотрение группе независимых международных экспертов, выдвинутых Агентством по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (OCDE/AEN), которая подчеркнула важность полученных сведений и практический интерес результатов. Второй выпуск ожидается в 2005 году.



### Лаборатория Мёз/Верхняя Марна: хронология событий

1992 г. — работы над проектированием захоронения, определение направления исследований.

1994–96 гг. — геологическая разведка в двух областях: одна на границе департаментов Мёз и Верхняя Марна, а другая в Гарде.



Геологическая 3Д-схема сектора Мёз/Верхняя Марна



1997 г. — первый выбор концепции захоронения.

1998 г. — выбор местности Мёз/Верхняя Марна правительством и определение программы экспериментов, выбор концепций, предлагающих широкий набор технических решений.

1999–2001 гг. — углубление знаний о Келловейско-Оксфордском пласте и начало бурений скважин лаборатории.

конец 2001 г. — Досье «Глина 2001» суммирует накопленные к тому моменту знания.

2002 г. — с досье «Глина 2001» начинается пересмотр программы исследований на период 2002–2005 гг. и выбор концепций захоронения (контейнеры и ячейки).

2003–2004 гг. — бурение шахт в лаборатории и ее окрестностях.

Октябрь 2004 г. — пробурена вспомогательная шахта, достигающая 490 м.

Ноябрь 2004 г. — введение в эксплуатацию экспериментальной галереи на глубине 445 метров в главной шахте.

С февраля 2005 г. — бурение экспериментальных галерей во вспомогательной шахте.

### Глина площадки Мёз/Верхняя Марна

Геологическая среда входит в систему захоронения. Именно она должна обеспечить на длительные сроки удержание радиоактивных элементов, чтобы избежать их поступления в окружающую среду.

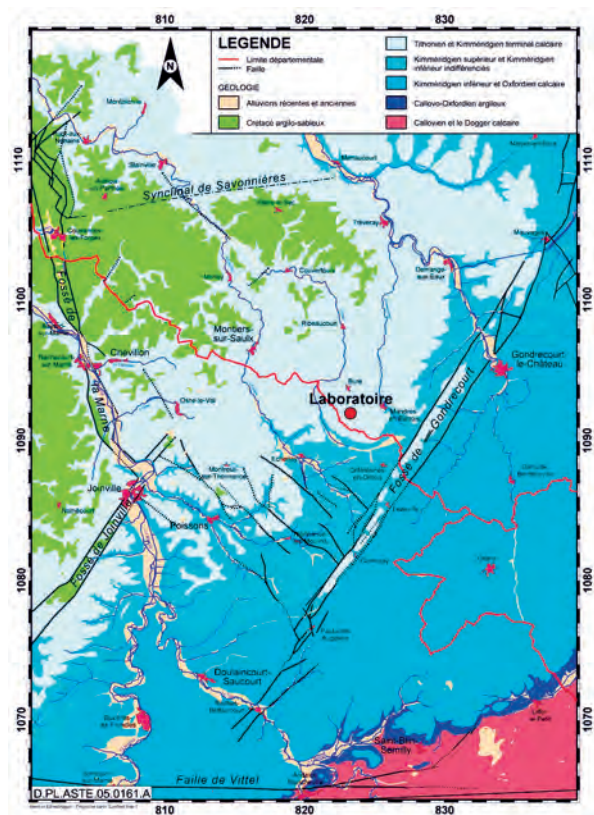
#### *Качества, ожидаемые от породы*

Геологическая среда должна быть стабильной в течение длительного периода времени, то есть мало подверженной землетрясениям и эрозии.

Глинистый слой, расположенный на достаточной глубине, чтобы избежать воздействий разрушительных поверхностных процессов, должен быть однородным по своей структуре и минералогическому составу. Содержание воды, которая является главной причиной повреждений захоронений и основным путем распространения радиоактивных элементов, в породе должно быть малым. Наконец, химическая стабильность и пригодность для бурения — еще два необходимых качества породы.

#### *Выбор аргиллита*

Аргиллит обладает отличными свойствами. Это практически водонепроницаемая твердая осадочная порода. Элемен-



Геологическая карта площадки Мёз/Верхняя Марна

ты, растворенные в воде (радиоактивные или нет), перемещаются в аргиллите очень медленно, так как их передвижение обусловлено главным образом их собственным движением (диффузия), а не вовлечением в циркулирующий поток воды (конвекция). К тому же аргиллит имеет свойство удерживать многие химические элементы, это стабильная химическая среда, способная сорбировать химические вещества. И, наконец, аргиллит обладает высокой механической прочностью, оставаясь при этом долгое время достаточно гибким, чтобы приспособиться к медленным движениям.

### *Площадка Мёз/Верхняя Марна*

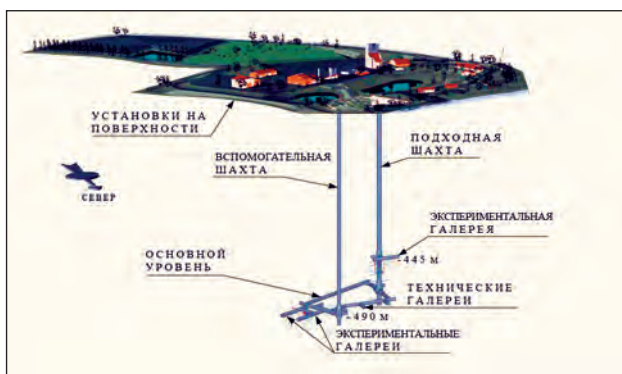
#### **Келловейско-оксфордские аргиллиты**

Север Верхней Марны и юг департамента Мёз представляют собой геологически простую область парижского бассейна с горизонтальными слоями известняка, мергеля и глинистых пород, которые последовательно откладывались на дне бывших морей.

Изучаемый слой, келловейско-оксфордские аргиллиты, — это глинистая порода толщиной не меньше 130 метров, образовавшаяся 155 миллионов лет назад и расположенная на глубине между 400 и 600 м.

Основные эксперименты, проводимые в лаборатории:

- *С поверхности:*
  - изучение региональных сейсмических профилей;
  - бурение на большой глубине и измерение механических свойств, проницаемости и диффузии пород;
  - разведочное бурение в сторону от скважины на уровне геологического слоя;
  - геофизические работы (2D- и 3D-зондирование породы сейсмическими волнами);
  - гидрогеологические наблюдения;
  - сеть сейсмических станций.
- *Под землей:*
  - во время бурения шахт: изучение слоев, сбор воды и измерение дебита в известковых слоях, расположенных над келловейско-оксфордским слоем,



*Подземная исследовательская лаборатория Мёз/Верхняя Марна, состояние, ожидаемое на 2006 год*



*Вибрационные сейсмические источники на геофизической разведке*



*Экспериментальная галерея лаборатории (-445 м)*



измерение деформации внутренних стенок, наблюдение за механическим поведением породы в реальном времени с помощью датчиков, оценка повреждений породы в процессе бурения;

- внутри галерей: измерение деформаций внутренних стенок, измерение коэффициента теплопроводности, наблюдения за химическими процессами, измерение проницаемости и диффузии воды и радиоактивных элементов, оценочные тесты в дренажных каналах, заполненных набухающей глиной.
- материал с очень низкой проницаемостью, который набухает по мере добавления в него воды.

### *Выводы после десяти лет исследований площадки*



*Группа ученых в лаборатории*

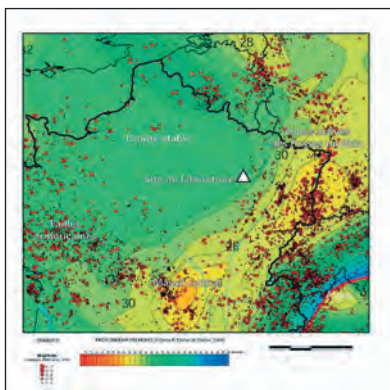
За десять лет исследований ANDRA собрало данные, подтверждающие, что келловейско-оксфордский пласт площадки Мёз/Верхняя Марна обладает благоприятными характеристиками для захоронения высокоактивных отходов:

- стабильная геологическая среда: очень низкая вероятность землетрясений;
- однородный и равномерный глинистый слой на большой поверхности, который не содержит разломов;
- очень низкая водопроницаемость келловейско-оксфордского пласта: циркуляция воды очень ограничена,

аргиллиты обладают благоприятными свойствами для захоронения и удержания радиоактивных элементов на длительные сроки;

- порода соответствует требованиям по устойчивости при выемке материала;
- ее характеристики удовлетворяют требованиям обратимого захоронения;
- воздействие привнесенных материалов (цемент, бетон, металлы) очень слабо и ограничено в непосредственном соседстве с работами;
- циркуляции вод в слоях, которые окружают келловейско-оксфордский пласт, очень медленные;
- результаты, полученные в подземной лаборатории, могут быть использованы для области в 200 км<sup>2</sup>.

### *Может ли захоронение выдержать землетрясение?*



*Сейсмическая обстановка вокруг Парижского бассейна*

Вот уже 150 миллионов лет деформации, связанные с движением тектонических плит, очень слабы, как и в остальной части Парижского бассейна. Они ограничиваются главным образом впадинами Гондрекюра и Марны на границе области исследований. Между этими впадинами келловейско-оксфордский пласт однородный и практически ровный.

Имеющиеся данные подтверждают, что регион практически не подвержен землетрясениям. Но из предосторожности объекты захоронения были спроектированы так, чтобы они могли выдержать сейсмические

толчки силой  $6,1 \pm 0,4$  балла с эпицентром в 6 км от площадки, что возможно лишь по самым худшим предположениям. Наконец, в любом случае, последствия от толчка будут очень мало заметны на глубине.

**Есть ли поблизости природные ресурсы, которые могли бы быть полезны в будущем?**

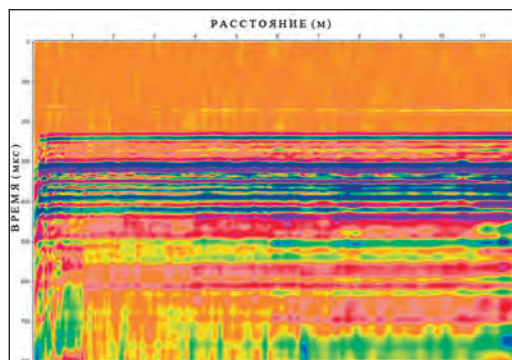
Площадка не содержит редких природных ресурсов. В частности, грунтовые воды, расположенные под лабораторией, не обладают необходимыми качествами, чтобы использоваться в будущем для потребления или как геотермальный источник.

**Подтверждено ли отсутствие разломов?**

Разломы были тщательно изучены во время геофизических работ. На протяжении 200 км<sup>2</sup> на север и на северо-запад от лаборатории не было обнаружено ни одного разлома. Единственные известные разломы находятся вне изучаемой зоны: впадина Марны (направление С-СЗ) и впадина Гондрекур (направление С-В) и образуют западную, южную и восточную границы сектора.

В келловейско-оксфордском пласте ни одно из бурений, которые в сумме составляют длину 2 300 метров, не пересекло вторичного разлома. Было замечено лишь несколько микроструктур не больше нескольких сантиметров.

Все они закупорены и не влияют на удерживающие свойства слоя.



*Оценка поврежденной зоны с помощью микросейсмических измерений*

**Возможен ли выход радиоактивных элементов из захоронения?**

Келловейско-оксфордский пласт обладает очень низкой проницаемостью. Следовательно, циркуляции воды очень ограничены, что предотвращает возможный перенос радиоактивных элементов: капля воды прошла бы лишь несколько сантиметров за 100 000 лет. Помимо этого, в слое содержится значительное количество смектита, минерала, который связывает элементы, растворенные в воде. Наконец, химический состав поровых вод породы таков, что радиоактивные вещества выпадают в осадок в твердой форме. В этих условиях радиоактивные вещества не могут раствориться в воде. Все это позволяет удерживать основную часть радиоактивных элементов внутри захоронения.

Некоторые радиоактивные элементы, возможно, все-таки смогут выйти из захоронения через очень продолжительное время (не раньше чем через 100 000 лет), но они не будут представлять опасности для человека и окружающей среды.

**Может ли прокладка галерей захоронения повредить зону, предназначенную для захоронения отходов?**

Лабораторные наблюдения за прокладкой галерей показали, что аргиллиты — очень твердая порода, которая мало и медленно деформируется. Проходка галерей создает вокруг них поврежденную область, которая, вообще говоря, может быть более проницаема для воды. На глубине 450 метров практически нет щелей, но



*Бурение в шахте*



микротрещины могут образоваться вблизи места работ. Например, при проходке диаметром 10 метров зона мелких трещин может достигать нескольких метров. Свойства породы при этом практически не изменяются. В частности, сохраняется очень низкая проницаемость. К тому же, многие признаки свидетельствуют о том, что трещины и щели со временем исчезают.

Вместе с тем, подача воздуха для вентиляции способствует осушению породы и может сделать ее хрупкой. Однако наблюдение старых проходок и моделирование показывают, что это явление происходит очень медленно в аргиллитах и не выходит за пределы поврежденной зоны.

#### **Возможно ли, что порода перекроет доступ к захоронению?**

Келловейско-оксфордский аргиллит обладает способностью деформироваться со временем. Это очень медленный процесс. Через 1000 лет перемещение внутренних стенок захоронительной конструкции будет меньше нескольких сантиметров. Это позволяет создавать стабильные и прочные конструкции на длительные сроки, что гарантирует обратимость.

#### **Какое воздействие может оказать тепло, выделяемое отходами, на породу?**

Некоторые отходы выделяют тепло. Поэтому важно изучить поведение породы под действием тепла. При температуре примерно до 70 °С аргиллиты не обнаруживают никаких изменений. Они могут выдерживать такие температуры в течение около 10 000 лет без значительных изменений и более высокие температуры в течение более коротких сроков. Эти оценки позволяют определить допустимые температуры для захоронения: так, было принято решение никогда не превышать 90 °С в породе, а через 1 000 лет — 70 °С.



*Получение экспериментальных данных*

#### **Как поведут себя материалы, привнесенные захоронением в геологическую среду?**

В химической среде захоронения разрушение бетона происходит в течение многих десятков тысяч лет. Когда захоронение закрыто, металлы при отсутствии кислорода подвергаются коррозии очень медленно, образуя при этом минералы, которые стабилизируют их разрушение. Исследования показали, что химическое воздействие коррозии на аргиллиты очень ограничено.

#### **Имеется ли течение воды в слоях, окружающих аргиллиты?**

В слоях, расположенных вокруг Келловейско-оксфордского аргиллита, потоки вод имеют, в основном, горизонтальное направление и направлены с плато на юг и на восток площадки, к центру парижского бассейна. Изучение топографии за последние два миллиона лет и прогнозы относительно климатических изменений позволяют представить изменения циркуляций вод на протяжении от 500 000 до 1 000 000 лет вперед. Направления вод будут меняться сравнительно мало.

#### **Для какой территории актуальны результаты, полученные в подземной лаборатории?**

ANDRA определило геологическую область, где свойства аргиллитов идентичны с изученными на площадке в лаборатории. Изучив территорию в 700 км<sup>2</sup> вокруг лаборатории с точной картографией, Агентство определило область идентичности результатов в 200 км<sup>2</sup> к северу и западу от лаборатории.

### Почему ANDRA изучает глину в Швейцарии?

Между 1996 и 2005 гг. ANDRA провело ряд экспериментов в лаборатории Мон Терри в Швейцарии. Аргиллиты этой площадки близки по своим свойствам к келловейско-оксфордским аргиллитам. Агентство опробовало технику и методы, собрало научные данные о поведении глинистых пород, проверило на опыте свои теоретические разработки и провело натурные технологические испытания. Главное достижение: результаты наблюдений, проведенных над данным участком, справедливы и для больших территорий.

### Конструкция захоронения

ANDRA создало концепцию простого и надежного захоронения: модульная конструкция, которая объединяет контейнеры одной категории и дает возможность гибкой эксплуатации.

#### Надежная и обратимая структура

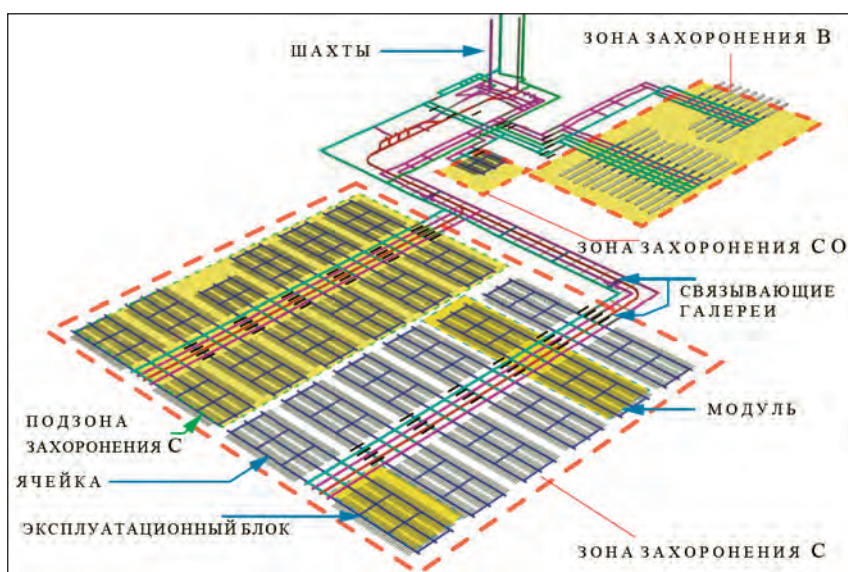
Захоронение размещается на одном уровне, в середине геологического слоя, чтобы обеспечить максимальную толщину барьера из аргиллита. Оно состоит из различных зон в зависимости от типа контейнеров (В, С, ОЯТ), которые отделены друг от друга и подразделены на модули. Модули создаются и разрабатываются по мере необходимости.

Выработки спроектированы таким образом, чтобы ограничить механические повреждения. У них простая архитектура (обыкновенно одна секция близка к полукругу), и ограниченные размеры. Штреки размещены с промежутками и ориентированы параллельно направлению наибольшей силы давления в породе, чтобы механически не взаимодействовать. Внутренняя облицовка поддерживает инженерные сооружения в течение нескольких сотен лет. Пустоты в штреках ограничены.

Конструкции, предназначенные для отходов категории С и отработанного топлива (ОЯТ), спроектированы так, чтобы ограничить повреждения, связанные с высоким выделением тепла в таких контейнерах, это достигается благодаря достаточно большим интервалам между контейнерами и соответствующему размещению. Температура не должна превышать 100 °С при соприкосновении с контейнерами и 90 °С в недрах породы, захоронение спроектировано так, чтобы по прошествии 1 000 лет температура была не выше 70 °С.

Конструкции, предназначенные для отходов категории С и отработанного топлива (ОЯТ), спроектированы так, чтобы ограничить повреждения, связанные с высоким выделением тепла в таких контейнерах, это достигается благодаря достаточно большим интервалам между контейнерами и соответствующему размещению. Температура не должна превышать 100 °С при соприкосновении с контейнерами и 90 °С в недрах породы, захоронение спроектировано так, чтобы по прошествии 1 000 лет температура была не выше 70 °С.

Чтобы ограничить циркуляцию вод, конструкции размещены в тупиках. Если будет принято решение об их закрытии, они будут закупорены пробками из набухающей глины с низкой водопроницаемостью.



Общая организация захоронения

*Материалы ячеек и контейнеров* (бетон, сталь и т. д.) выбраны в целях наиболее длительного использования и сохранения физико-химических свойств окружающей среды для удержания радиоактивных веществ.

*Требование обратимости учитывается с самого начала проектирования захоронения.* Поэтому предпочтение отдается прочным материалам, а также поддерживается техническая возможность извлечь контейнеры и организовать эксплуатацию или закрытие захоронения по модулям и поэтапно.

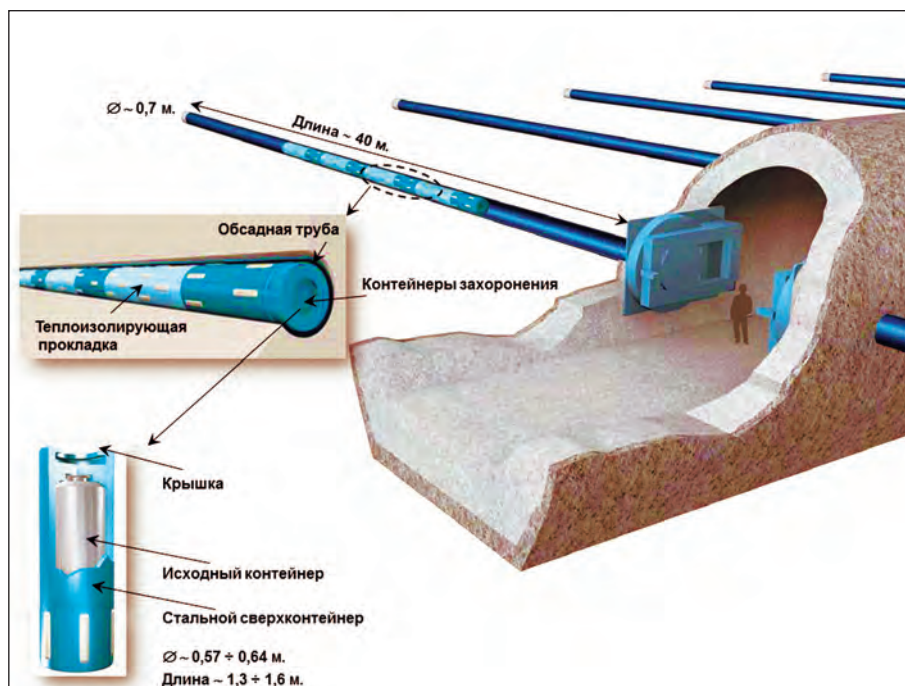
### *Захоронение отходов категории В*

Отходы категории В выделяют очень мало тепла. Упаковки, полученные от производителей, размещаются в контейнеры из высокопрочного железобетона и становятся единицами захоронения. Эти контейнеры представляют собой параллелепипеды высотой примерно от 1,5 до 2 метров и весом от 6 до 25 тонн. Они рассчитаны на то, чтобы существовать многие века и быть устойчивыми к падению. Для демонстрации возможности их создания и проведения натурных испытаний были использованы прототипы.

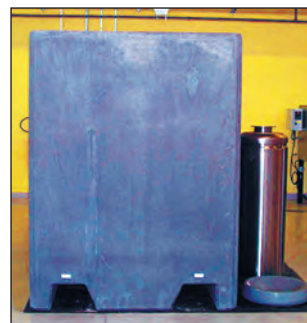
Контейнеры размещены в бетонных ячейках длиной в 250 м и диаметром 12 м. Ячейки снабжены облицовкой из высокопрочного бетона, обеспечивающего сохранность контейнера в течение многих веков. Внутри этой облицовки оборудована камера для захоронения, подогнанная под форму помещаемых контейнеров.

### *Захоронение отходов типа С*

Отходы типа С остекловываются в целях удержания радиоактивных веществ. Они выделяют много тепла. Высокая температура может ускорить процесс растворения



*Ячейка захоронения отходов категории С*



*Образцы стандартных контейнеров с отходами категории В*



стекла при контакте с водой. Чтобы избежать попадания воды на стекло в период, когда его температура еще высока, каждый контейнер категории С, доставленный производителем, помещается в герметичный цилиндрический стальной контейнер длиной от 1,3 до 1,6 метров и диаметром 60 см (1,7–2 тонны). Толщина контейнера (примерно 5 см) вычисляется из учета стойкости к коррозии и обеспечения герметичности, по крайней мере, в течение 4 000 лет.

Ячейка захоронения для контейнера категории С представляет собой штрек длиной в 40 м при диаметре 70 см. В ее задачи входит защита контейнера от коррозии, поэтому она не вентилируется, чтобы ограничить поступление кислорода, который способствует этому процессу. Чтобы соблюсти температурные ограничения, ячейки расположены на расстоянии около десятка метров друг от друга и в каждую из них помещается лишь небольшое количество контейнеров (от 6 до 8).

### ***Возможное захоронение отработанного топлива (ОЯТ)***

Хотя захоронение отработанного топлива сейчас не предполагается, ANDRA изучило вопрос реализуемости такого захоронения, чтобы представить все возможные технические решения.

Концепция аналогична схеме захоронения отходов типа С, но, принимая во внимание сильное тепло, выделяемое отработанным топливом (ОЯТ), было принято решение помещать между стальным контейнером и аргиллитом набухающую глину (бентонит). Толщина стального контейнера (немногом больше 10 см) обеспечивает защиту от коррозии в течение 10 000 лет. Конструкция контейнера также позволяет избежать неконтролируемой цепной ядерной реакции.

Контейнеры, которые содержат множество отработанных топливных сборок, весят 43 тонны, которые содержат лишь одну — от 8 до 10 тонн. Ячейка ОЯТ имеет длину около 45 метров при диаметре от 2,5 до 3 метров. Чтобы избежать аккумуляции тепла, штреки проложены на расстоянии около 20 метров друг от друга и количество контейнеров на ячейку ограничено (от 3 до 4).



*Образец контейнеров захоронения отработанного топлива*

### **Как будет обеспечена безопасность персонала внутри захоронения?**

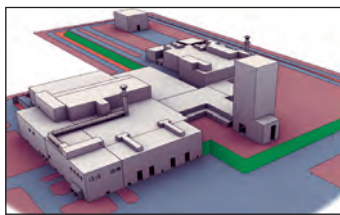
Подземное пространство устроено так, чтобы операции по захоронению могли происходить одновременно со строительством новых ячеек. Тем не менее, в проекте предусматривается разделение сфер деятельности: чтобы избежать каких бы то ни было взаимодействий, маршруты движения, связанные со строительством и закрытием, отделены от направлений, связанных с работами по захоронению, которые могут представлять радиационную опасность.

В случае необходимости персонал может быть эвакуирован через шахты доступа, а спасательные команды могут быстро опуститься на глубину. Также предусмотрена система удаления дыма в случае пожара. Сеть галерей удовлетворяет всем нормативным требованиям в отношении безопасности.





*Этапы создания и эксплуатации зоны захоронения отходов категории С*



*Сооружения, находящиеся на поверхности (проект)*

На поверхности общей площадью примерно в 100 Га постройки относятся к трем зонам:

- ядерная зона, где отходы, доставляемые производителями, принимают и упаковывают в контейнеры для захоронения;
- промышленная зона с техническими цехами и материалами, необходимыми для подземных работ;
- административная зона.

Одна из зон, возможно, сможет разместить извлеченную породу, которая затем может послужить материалом засыпки при закрытии галерей.

### Центр захоронения в эксплуатации

Создание, промышленная эксплуатация и закрытие захоронений ведутся постепенно и могут происходить одновременно. Такая гибкость позволяет менять концепцию и режим управления центром захоронения в зависимости от полученного опыта. К этим основным видам деятельности следует добавить техническое обслуживание и контроль, необходимые для обеспечения обратимого подхода к захоронению.

#### *От получения отходов до их захоронения в ячейках*

В наземных сооружениях упаковки с радиоактивными отходами, доставленные на территорию центра, извлекаются из транспортировочных бочек и помещаются в контейнеры. Затем их проверяют и помещают на временное хранение. Большинство этих операций производится без присутствия человека при помощи машин с дистанционным управлением в экранированных помещениях.

**Сколько шахт будет соединять захоронение с поверхностью?**

Захоронение соединяется с поверхностью четырьмя шахтами. Эти шахты снабжены надежными механизмами, используемыми в горнодобывающей промышленности, и различаются по функциям: погружение контейнеров, перевозка персонала, обслуживание захоронения (выемка породы и транспортировка объемных материалов), вентиляция.

**Какие сооружения предусматриваются на поверхности?**

На поверхности общей

Затем каждый контейнер помещают в специальный бронированный корпус, обеспечивающий радиационную защиту персонала, и транспортируют в подземные сооружения.

Что касается отходов типа В, погрузчик на дистанционном управлении извлекает из корпуса контейнер и помещает его в ячейку. Для отходов типа С предусмотрен мобильный робот, встроенный в корпус, который толкает контейнер в ячейку. Этот механизм является объектом экспериментов европейского проекта ESDRED (Engineering Studies and Demonstrations of Repository Design — Инженерные исследования и демонстрация конструкций хранилищ).

Контейнеры небольшого диаметра с отработанным топливом (ОЯТ) могут быть помещены в ячейки аналогичным образом. Контейнеры большого диаметра (по 4 отработанных топливных сборки) приподнимаются на воздушных подушках, зафиксированных на платформе, которую толкает самодвижущийся погрузчик. Это устройство было с успехом испробовано в Швеции и также является предметом исследований проекта ESDRED.



Схема транспортировки контейнера захоронения

### *Этапы постепенного закрытия захоронений*

Согласно требованиям обратимости, захоронение будет закрываться по этапам: запечатывание ячеек, засыпка и запечатывание галерей и шахт. Это запечатывание препятствует циркуляции воды в захоронении, а засыпка галерей ограничивает деформации в геологической среде.

Ячейки с отходами категории В сначала закрывают радиационной защитой (бетонная стена), цель которой — обеспечить безопасность работ, и тридцатью метрами набухающей глины, представляющей препятствие для проникновения воды. Для контейнеров типа С и ОЯТ используется металл, защищающий от радиации, к которому добавляют около трех метров набухающей глины.

Затем галереи засыпаются и запечатываются подобно ячейкам В. Шахты заполняются в основании бетоном и запечатываются набухающей глиной до высоты 30 метров. Затем они засыпаются аргиллитом (извлеченным с площадки) с изолирующей пробкой на основе набухающей глины (от 10 до 15 метров) на каждом пористом уровне.

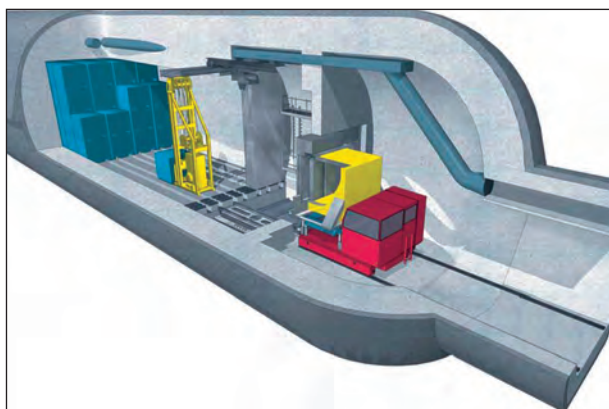
### **Какие опасности связаны с созданием и эксплуатацией захоронений? Как их избежать?**

Основные опасности те же, что и в горнодобывающей промышленности, в шахтах или туннелях: пожары, аварии при погрузочно-разгрузочных работах и транспортировке, падение блоков, проблемы, связанные с электричеством и т. д. — все это обуславливает принятие классических превентивных мер.

Основная задача в процессе эксплуатации — предотвратить риск радиационного облучения. Эти обычные для ядерной промышленности меры заключаются в защите при помощи экранов, систем дистанционного управления и автоматов, в удержании радиоактивных веществ, ограничении выбросов радиоактивных газов и контроле радиационного загрязнения.

Для отработанного топлива (ОЯТ) также был принят во внимание риск неконтролируемой цепной ядерной реакции, а отходы категории В и С не содержат достаточного для реакции количества вещества. Для предотвращения этой опасности между контейнерами и ячейками, как и в существующих временных хранилищах, должно быть достаточное расстояние, используются также методы сухого хранения, так как вода делает вещества более опасными.

Чтобы избежать повреждения контейнеров при падении, высота погрузочно-разгрузочных работ ограничена, а прочность контейнеров и корпусов рассчитана с большим запасом по отношению к высоте возможного падения. Таким образом, в случае падения целостность первичного контейнера сохраняется. Была исследована возможность падения контейнеров в шахтах, хотя она очень маловероятна благодаря механизмам, используемым при разработке месторождений. В этом случае амортизатор падения ограничивает повреждения корпуса. Контейнеры С и ОЯТ, помещенные внутрь корпуса, не подвергаются повреждению, в то время как контейнеры В могут



*Захоронение контейнеров в ячейке В*

слегка потрескаться, хотя их первоначальные контейнеры останутся нетронутыми. Тем не менее, чтобы избежать данной опасности, предусмотрены специальные фильтры, удерживающие радиоактивные вещества, которые могли бы оказаться в шахте.

### **Пожароопасность**

Пожароопасность стала предметом детального исследования. Результаты учений доказали, что проект захоронения с галереями, связанными между собой через равные промежутки, позволяет персоналу удалиться от места пожара, быстро достичь параллельной галереи, снабженной свежим воздухом, и выбраться на поверхность в хорошем состоянии.

Однако контейнеры захоронения не смогли бы выдержать повреждений, что может привести к распространению радиоактивных веществ.

Однако контейнеры захоронения не смогли бы выдержать повреждений, что может привести к распространению радиоактивных веществ.

### **Какова доза радиоактивности, которую мог бы получить человек, работающий внутри захоронения?**

Приблизительная доза была бы сильно ниже современных нормативных границ, которые составляют 20 мЗв/год для рабочих и 1 мЗв/год для населения. (1 мЗв — один миллизиверт. Зиверт — единица измерения эффекта, производимого на живых существ радиацией.)

### **Обратимый подход к управлению захоронением**

#### ***Свобода выбора будущих поколений***

Обратимый подход, предложенный агентством ANDRA, может быть определен как возможность управлять захоронением гибко и поэтапно. Цель — оставить будущим поколениям возможность менять способ управления захоронением.



Концепция захоронения (модульная архитектура, упрощение эксплуатации, расчет размеров, выбор прочных материалов и т. д.) стремится к тому, чтобы оставить наибольшую свободу выбора. Обратимость выражается, в частности, в возможности извлекать контейнеры из захоронения, но также влиять на процесс и менять структуру захоронений.

### *Различные этапы закрытия*

*После размещения контейнеров:* ячейки не запечатаны, но закрыты устройствами, которые защищают людей от радиации. Вся подземная инфраструктура остается доступной.

*После запечатывания ячейки:* ячейки запечатывают с помощью пробки из набухающей глины, но их верхняя часть остается в доступности. Учитывая то, что процессы деформации протекают крайне медленно, а вода отсутствует в течение многих веков, покрытие ячеек ухудшается очень незначительно.

*После закрытия модуля (нескольких ячеек):* галереи доступа к модулям С и ОЯТ засыпаются аргиллитом, но соединительные галереи, обслуживающие модуль, остаются доступными. Это не касается модулей В, состоящих из одной ячейки. Стабильность захоронений обеспечивается на очень длительный срок.

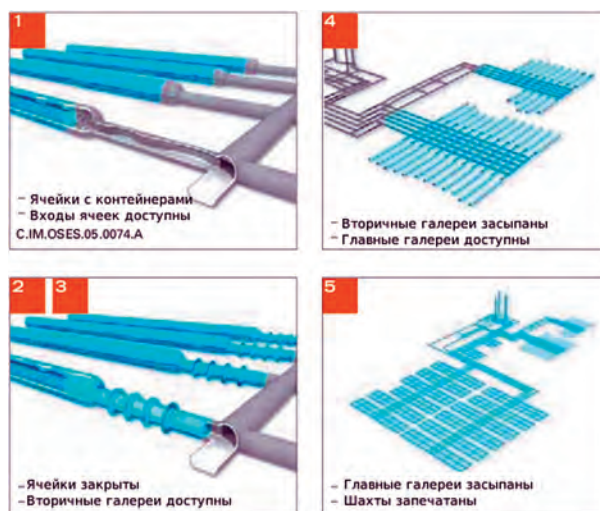
*После закрытия зоны захоронения:* галереи внутри зоны запечатываются и засыпаются. Главные галереи остаются в доступности.

*Пост-закрытие:* этот этап начинается после запечатывания и засыпки главных галерей и шахт. Он соответствует концу процесса захоронения. Захоронение становится пассивным, то есть оно продолжает обеспечивать изоляцию отходов без человеческого вмешательства.

Это не единственно возможная схема постепенного закрытия. Она представляет один из вариантов, который также может быть изменен.

**Наблюдение за захоронением позволит скорректировать методы управления.** Выбор подхода к управлению захоронением (обслуживание, откат назад, переход к меньшей степени обратимости) основывается на научном понимании его развития в течение многих и многих веков.

Для улучшения проекта и управления захоронением будет создана программа наблюдений, которая будет исследовать полученный опыт.



*Возможные этапы эксплуатации и постепенного закрытия захоронения*



*Запечатанная ячейка захоронения отходов категории С*



Измерительные приборы (деформация, температура, давление), а также системы передачи данных будут размещены в контрольных ячейках, шахтах, галереях, запечатывающих конструкциях и участках засыпки с момента их сооружения. Эти приборы должны будут функционировать в течение длительного времени и в сложных условиях (радиация и высокие температуры).

Богатый опыт строительных работ предоставляет широкие возможности: выбор качественных инструментов, разумное распределение разнообразных приборов наблюдения, внедрение этих приборов с момента разработки захоронений.

### В течение какого времени будет открыт доступ к отходам?

ANDRA не устанавливает сроков доступа, придерживаясь принципа обратимости.

Основа обратимости — механическая стабильность ячеек, которая не нуждается в особой поддержке в течение, по крайней мере, 200–300 лет. Учитывая предусмотренные сроки безопасности, ячейки должны быть стабильными еще дольше. Наблюдения позволят регулярно переоценивать продолжительность их жизни.

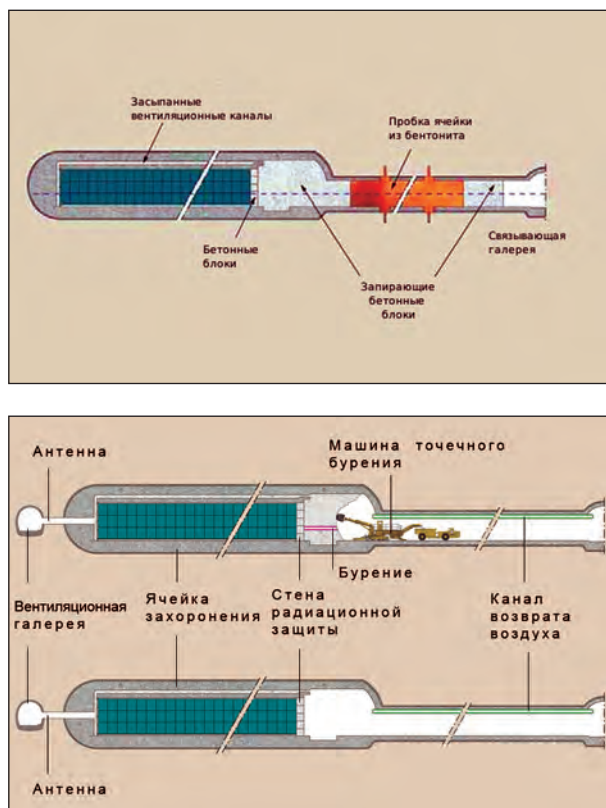
Крайний предел — механическое нарушение оболочки ячеек. После этого извлечение контейнеров, заблокированных геологической формацией, потребует привлечения горнопромышленного оборудования и особую защиту от радиации.

Чтобы продлить этот срок, необходимо принять специфические технические меры (усиленные технические меры, укрепление сооружений, реконструкция).

Как именно можно будет извлекать контейнеры?

### Как именно можно будет извлекать контейнеры?

Оборудование и методы извлечения контейнеров подобны тем, которые используются при их размещении. Однако условия отличаются в зависимости от этапа, на котором было принято решение об извлечении.



Процесс демонтажа запечатанной ячейки В

Например, если уже было произведено запечатывание, будет необходимо демонтировать систему, чтобы снова получить доступ к ячейкам и переоборудовать их для извлечения контейнеров.

### Долгосрочное развитие захоронения

Обратимое захоронение может быть закрыто, если такое решение будет принято. Для этого необходимо, чтобы захоронение было способно к надежному безопасному существованию без человеческого вмешательства. ANDRA изучило такой вариант существования при всех возможных сценариях, чтобы удостовериться в незначитель-

ности влияния такого захоронения на окружающую среду и человека во всех случаях. Эти исследования основываются на современных технических и научных знаниях и учитывают различные неопределенности с момента закрытия захоронения и на миллион лет вперед.

### *Сложный механизм захоронения*

Каждое захоронение представляет собой сложную систему, включающую в себя многие составляющие (контейнеры, конструкции захоронения, геологическая среда), развитие которой зависит от разных факторов: термических, гидравлических, химических и механических. Исследования позволили оценить условия, при которых могла бы произойти утечка радиоактивных элементов из контейнеров в окружающую среду.

### *Главные ожидаемые изменения*

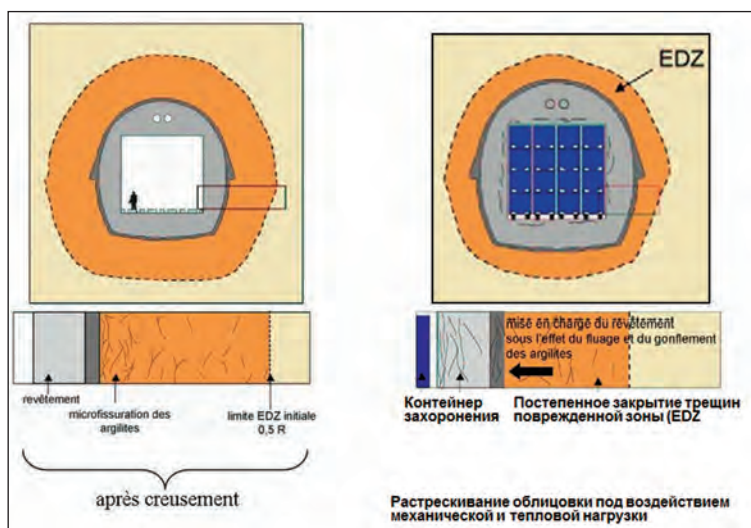
#### **Влияние высокой температуры незначительно**

Захоронение спроектировано так, чтобы ограничить температуру до 90°C во всех случаях. Максимальные значения достигаются за один или несколько десятков лет, возвращение к температуре около 40°C происходит примерно за 1000 лет для ячеек С и за 6000 лет для ячеек ОЯТ. Эти периоды намного короче времени, за которое контейнеры могли бы прийти в негодность: таким образом, высокая температура имеет лишь незначительное влияние на утечку и миграцию радиоактивных элементов. К тому же повышение температуры не меняет минеральный состав аргиллитов и не ухудшает их изолирующие свойства.

#### **Гидравлические изменения имеют контролируемые последствия**

Захоронение нарушает исходное гидравлическое равновесие геологических пород. Эти нарушения ограничиваются областью захоронения и келловейско-оксфордским пластом. За 100 000—200 000 лет устанавливается новое гидравлическое равновесие. Тогда химические и механические процессы развиваются быстрее.

По истечении от нескольких сотен тысяч до миллиона лет климатические изменения и эрозия постепенно изменяют направления течений вод в слоях, которые окружают келловейско-оксфордский пласт. Воды направятся к природным стокам на север и на запад от площадки Мёз/Верхняя Марна, но все с той же низкой скоростью течения.



*Эволюция зоны, поврежденной бурением*

### **Механические изменения происходят постепенно**

Механические воздействия, связанные с захоронением, ограничены келловейско-оксфордским слоем, зоной в несколько метров. Поврежденная зона (EDZ) характеризуется появлением микротрещин, концентрация которых уменьшается по мере удаления от стенки. Слабое трещинообразование может появиться также в породе в зависимости от глубины и от ориентации по отношению к силам давления.

Вычисления показывают, что трещины не образуются на глубине 500 м, но постепенно начинаются на глубине около 600 м. В масштабе от тысяч до многих десятков тысяч лет в ходе своей эволюции аргиллиты имеют тенденцию залечивать эти мелкие трещины.

### **Химическая эволюция**

Ухудшение качества бетона и коррозия металлов — очень длительные процессы. Химические нарушения могут влиять на область не больше нескольких метров, что слишком мало по сравнению с толщиной геологического слоя. То есть, аргиллиты сохраняют свои изолирующие свойства.

Ухудшение качества контейнеров, а следовательно, и утечка радиоактивных элементов, таким образом, — также очень медленные процессы, длящиеся вплоть до сотен тысяч лет для отходов класса С.

### **Подвижность радиоактивных элементов**

Радиоактивные элементы разделяют на три класса в зависимости от степени растворимости и возможности удержания в глинистой породе:

- «мобильные» элементы, например, йод, хлор;
- «среднемобильные» элементы, например, цезий;
- «низкомобильные» элементы — уран, плутоний.

Геологическое захоронение будет содержать, главным образом, элементы двух последних типов.

### ***Медленное и ограниченное высвобождение радиоактивных элементов***

Утечке радиоактивных элементов препятствуют три барьера: первый — контейнер, второй — ячейка, а третий — геологическая среда. С течением очень длительного времени изолирующие свойства контейнеров могут ухудшиться: коррозия металла, повреждение бетона, растворение стекла в зависимости от термических и гидравлических условий. Радиоактивные вещества смогут высвободиться из контейнеров. Тогда они либо будут задержаны, либо растворены, в зависимости от химического окружения, в которое они попадут.

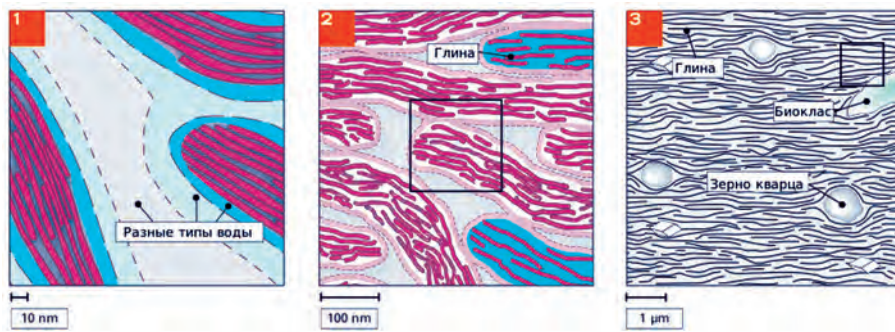
Очень низкая скорость диффузии замедляет их миграцию, а большинство из них исчезает в результате естественного радиоактивного распада. Лишь некоторые мобильные элементы, например, йод-129, хлор-36, цезий-135, селен-79, углерод-14 могут мигрировать на значительное расстояние от ячеек.

В таком случае они очень медленно распространяются в глинистой породе.

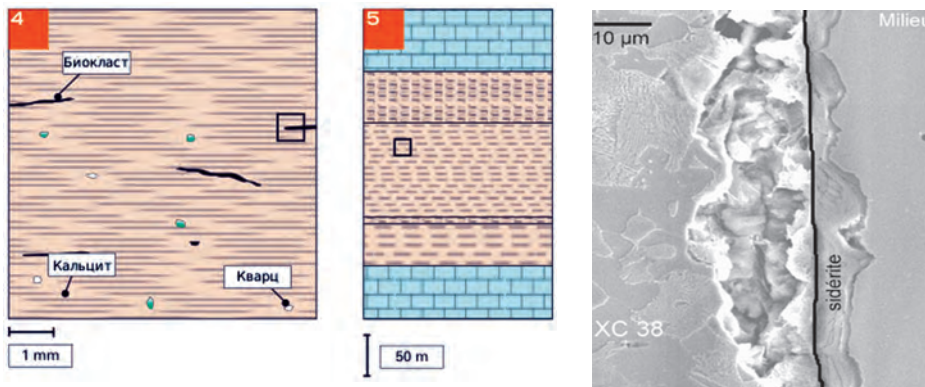
### **В течение какого времени радиоактивные вещества будут удерживаться в контейнерах?**

Негазообразные радиоактивные вещества остаются изолированными вплоть до многих сотен тысяч лет в зависимости от контейнера. Газообразные вещества, выде-





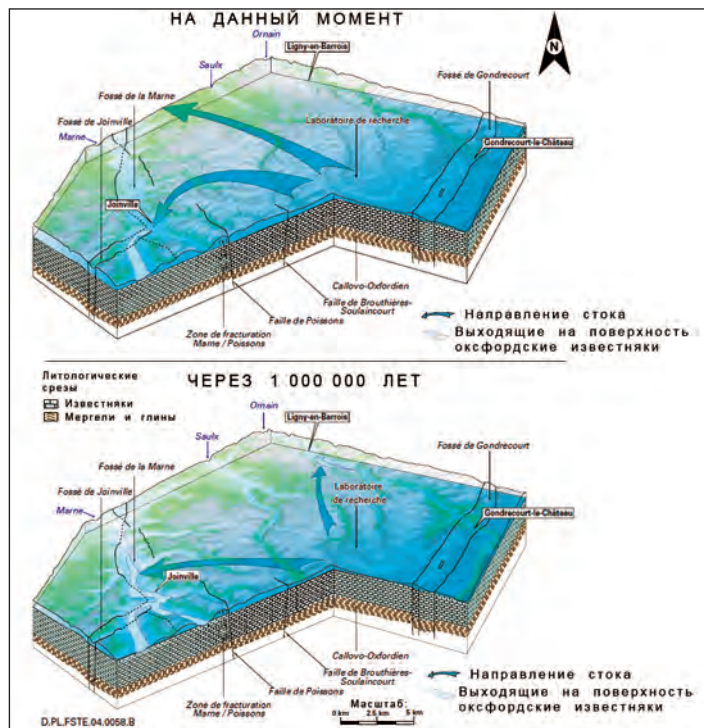
Схематическое изображение текстуры и поровой структуры келловейско-оксфордского пласта



Коррозия, вид поверхности через электронный микроскоп

ляемые в очень незначительных количествах контейнерами В, не выходят из захоронения, за исключением углерода-14, который растворяется в воде или рассеивается в геологической среде ввиду очень маленького объема.

При контакте с водой отходов категории В без учета возможной роли бетонных контейнеров радиоактивные элементы постепенно высвобождаются в течение нескольких десятков-сотен тысяч лет. По консервативным оценкам, контейнеры С и ОЯТ обеспечивают непроницаемость в течение, по крайней мере, 4000 лет для первых и 10 000 лет — для вторых соответственно. После повреждения контейнеров вода входит в контакт со стеклом и с топливными сборками, и эти элементы растворяются в течение многих сотен тысяч лет.



Схематическое изображение эволюции стоков в карбонатном оксфордском пласте от настоящего момента до ситуации через миллион лет



### **Через какое время они попадут в окружающую среду?**

Перемещение радиоактивных элементов вплоть до границ келловейско-оксфордского пласта потребует, по крайней мере, сотню тысяч лет для самых мобильных из них. Половина элементов направится вниз (доггеровский пласт), вторая половина — вверх (оксфордский пласт). Лишь некоторые наиболее растворимые элементы с самым долгим периодом распада успеют достигнуть пограничных с келловейско-оксфордским пластов в течение ближайшего миллиона лет.

### **Безопасность захоронений и влияние на человека**

Чтобы оценить, безопасно ли захоронение в долгосрочной перспективе, ANDRA провело исследования относительно его влияния на человека и окружающую среду.

#### *Различные сценарии развития*

ANDRA произвело вычисления по двум направлениям:

- *сценарий нормального развития захоронения*, основанный на консервативных гипотезах. Этот сценарий не претендует на изображение будущего, но охватывает наиболее вероятные ситуации,
- *сценарии различных отклонений*, включают в себя маловероятные события и возможные инциденты.

Согласно международной практике, вычисления производятся из расчета на период в миллион лет с учетом климатических изменений.

Воздействие захоронения рассчитывается при помощи «моделей»: в случае слабой неопределенности оставляют наиболее научно обоснованную модель, в случае сильной неопределенности принимают ту модель, по которой возможно максимальное нанесение вреда. Таким образом, риски и неопределенности учитываются уже с момента проектирования захоронения.

#### *При нормальном развитии захоронения*

### **Захоронение соответствует критериям безопасности**

Потоки воды в захоронении малозначительны. Большинство радиоактивных элементов мигрирует очень медленно по келловейско-оксфордскому пласту, аргиллиты обладают хорошими изолирующими свойствами.

Глинистый слой замедляет выход радиоактивных элементов на сотни тысяч лет. По истечении миллиона лет практически все радиоактивные элементы не будут представлять опасности. Только для йода-129 и хлора-36 могут наблюдаться значительные потоки на границе келловейско-оксфордского пласта.

### **Существуют различные пределы безопасности**

Чтобы обеспечить максимальную безопасность захоронения, были приняты консервативные решения, это нашло свое отражение в выборе параметров; за слоями, которые окружают келловейско-оксфордский пласт, не было сохранено никаких благоприятных для захоронения свойств, хотя они ими обладают; воздействие на людей было рассчитано исходя из предположения о наличии неудачно пробуренных скважин для потребления воды.

### *При необычном развитии захоронения*

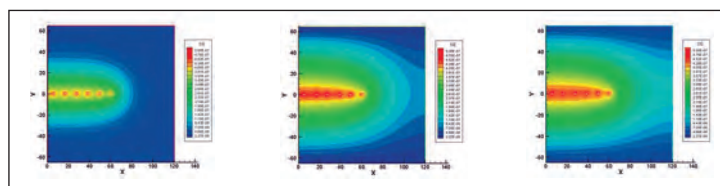
Хотя вероятность этого крайне мала, ANDRA изучило возможные нарушения функционирования системы захоронения и внешние повреждения как по вине человека, так и естественного происхождения. Как было доказано, их последствия останутся в пределах допустимого. Это исследование было сопоставлено с работами, проведенными на международном уровне:

- поврежденные запечатывающие участки (галереи и ячейки В) и пробки ячеек С и ОЯТ: очень слабое воздействие на окружающую среду благодаря низкой проницаемости пласта и предложенным архитектурным решениям;
- неисправные контейнеры С и ОЯТ: более раннее появление воздействий, которые мало отличаются от тех, которые наблюдаются при нормальном развитии благодаря удерживающей способности геологической среды;
- бурение, проникающее в зону захоронения в различных местах: последствия ограничены зоной воздействия благодаря секционированию захоронения, запечатывающим участкам и свойствам породы.

### **Допустимый максимум воздействия на окружающую среду и человека**

Воздействие захоронения на человека и окружающую среду следует сопоставлять с квотой, установленной МАГАТЭ и составляющей 0,25 мЗв/год. Эта доза радиации равна четверти установленной нормы излучения искусственного происхождения и приблизительно одной десятой годового фонового облучения человека.

Расчетная величина воздействия — это индивидуальная доза, получаемая представителями группы людей, наиболее подверженной облучению. Под ними понимаются «возможные критические группы людей, которые могут получить максимальные дозы облучения, среди которых люди, живущие изолированно, по крайней мере, частично» (BSS III.2.f).



*Распространение селена через 100 000 лет,  
500 000 лет и миллион лет*

### **Безопасность захоронения и воздействие на человека**

#### **Какую дозу радиации получит местное население?**

ANDRA оценило дозы облучения на основе самых пессимистичных предположений. Основные радиоактивные вещества, которые, возможно, смогут попасть в окружающую среду через очень длительное время — это йод-129, хлор-36 и селен-79. В данной ситуации, как и в ближайший миллион лет, доза возможного облучения по крайней мере в 10 раз меньше квоты 0,25 мЗв/год для отработанного топлива и более чем в 100 раз меньше для отходов класса В и С. Таким образом, даже по самым худшим предположениям для отходов класса В и С полученная доза будет в 1000 раз меньше естественного фона.

Показатели захоронения с большим запасом соответствуют рекомендованным дозовым пределам, предусмотренным базовыми стандартами безопасности.

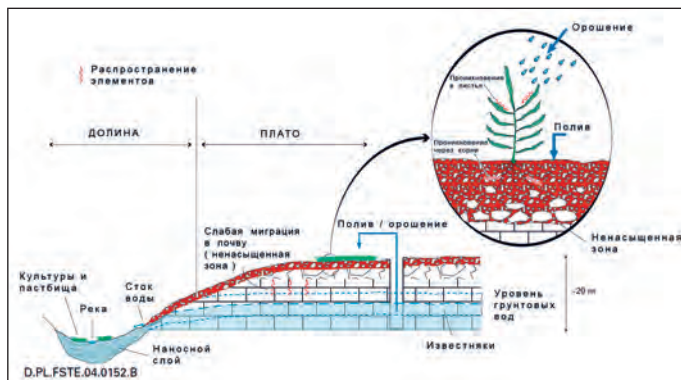
### Консервативные параметры

Чтобы предусмотреть развитие захоронения, в том числе в нормальной ситуации, ANDRA оперирует консервативными и даже пессимистичными данными, например:

- расположение захоронения в наиболее тонком слое келловейско-оксфордского пласта и на самой большой глубине, в переходной зоне;
- для отходов класса В бетонные *сверхконтейнеры* рассматриваются как водопроницаемые [*Surconteneur — дополнительный герметичный элемент упаковки, позволяющий преобразовать исходные контейнеры с остеклованными отходами класса С в контейнеры долгосрочного (до 300 лет) или постоянного хранения*];
- для отходов категории С и отработанного топлива (ОЯТ) предполагаются защитные контейнеры со значительно меньшей, в отличие от имеющихся сведений, продолжительностью жизни (соответственно от 4000 до 10 000 лет);
- отсутствие удерживающих качеств у слоев, которые окружают келловейско-оксфордский пласт.

### Воздействие химических элементов

Бор, селен, никель и сурьма — элементы, которые могут присутствовать в высокоактивных долгоживущих отходах. Вычисления, рассчитанные на миллион лет вперед, показывают, что их воздействием можно пренебречь.



Модель миграции радионуклидов из геосферы в биосферу на площадке Мёз/Верхняя Марна

**Какой будет доза радиации, если все функции захоронения будут нарушены одновременно?**

ANDRA изучило также экстремальную ситуацию, при которой ни одна из функций безопасности не будет нормально обеспечена: существенное ухудшение свойств проницаемости породы и материалов, очень низкие показатели запечатывающих участков, утечка радиоактивных веществ из всех контейнеров, пессимистич-

ные оценки миграции и удержания радиоактивных веществ в аргиллите. Воздействие на окружающую среду в такой ситуации останется все еще ниже порога 0,25 мЗв/год.

В целом, выбивающиеся из нормального развития событий сценарии повлекут лишь незначительное увеличение дозы радиации, которая все еще останется сильно ниже допустимых норм. Даже при маловероятных инцидентах захоронение представляет собой надежный и эффективный способ защиты человека и окружающей среды от радиоактивных отходов, которые будут в нем размещены.

### Исследования по захоронению в граните

#### Глобальный подход

Наряду с исследованиями по глине ANDRA изучило возможность захоронения высокоактивных долгоживущих отходов в граните. В период с 1994 по 1996 гг. агентство осуществило геологическую разведку в целях создания подземной лаборатории

в гранитах департамента Вьенна. Вследствие неблагоприятного отзыва Национального экспертного совета эта площадка не была выбрана правительством. В 1999 году оно инициировало создание комиссии для сбора мнений населения относительно пятнадцати площадок, которые комитет национальных и международных экспертов посчитал подходящими с геологической точки зрения. В связи с тем, что работа комиссии не была доведена до конца, в следующем году ANDRA разработало программу исследований, основывающихся на данных, полученных в зарубежных подземных лабораториях в разных геологических средах.

Из-за отсутствия конкретной площадки не удалось оценить реализуемость захоронения на отдельно взятом участке: в результате исследований была дана общая оценка целесообразности захоронения в гранитной среде и предложены проекты, соответствующие принципам обеспечения безопасности на длительный срок с учетом геологических особенностей Франции. Исследования коснулись четырех областей:

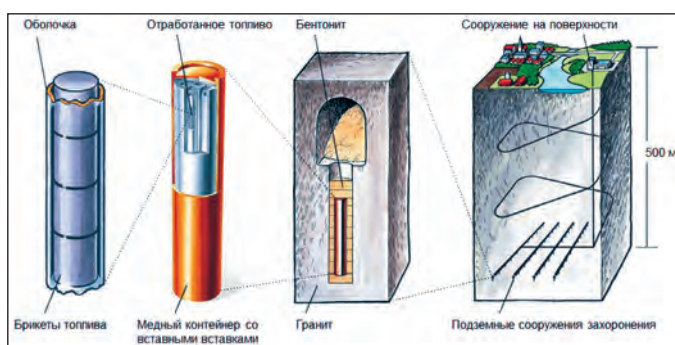
- гранитная среда;
- проект обратимого захоронения в граните: архитектура, кондиционирование отходов, эксплуатация и закрытие захоронения; некоторые данные, касающиеся, в частности, контейнеров и материалов, относятся также к исследованиям по глине;
- эволюция захоронения (термическое, механическое, химическое и гидравлическое);
- анализ безопасности на долгий срок.

### *Научное сотрудничество*

ANDRA вступило в научное сотрудничество со многими партнерами, в частности с Французской геологической службой (BRGM), Комиссариатом по атомной энергии и альтернативным энергоисточникам Франции (CEA), Национальным центром научных исследований (CNRS) и Высшей национальной горной школой (Ecole des Mines de Paris) в том числе, чтобы применить полученные в зарубежных лабораториях результаты для французских геологических условий. Агентство во многом основывалось на работах, проводимых в зарубежных лабораториях, в частности в Швеции и



*Опыты в лаборатории Аспо в Швеции*



*Проект шведского захоронения отработанного топлива в гранитной породе*



Швейцарии. Оно также активно участвовало в исследованиях, проводимых с поверхности земли в Финляндии.

### *Досье «Гранит 2005»*

ANDRA структурировало свои знания о граните вокруг пяти «тем»: четыре из них относятся также к досье «Глина 2005» (о материалах, о радиоактивных веществах и их миграции); пятая обобщает имеющиеся данные о французских гранитах.

Три тома резюмируют полученные знания:

- предложение проектов архитектуры надежного и обратимого захоронения;
- анализ развития захоронения;
- анализ безопасности; так как анализ не основывается на работе с определенной площадкой, изученные критерии не обладают окончательным и неизменным характером, в анализе подчеркиваются основные элементы, необходимые для проекта захоронения и работы, которые следует провести на возможном участке захоронения.

### **Какие уроки ANDRA извлекло из работы с зарубежными гранитами?**

На международном уровне приобретенные знания о граните имеют большое значение. ANDRA приняло участие в экспериментах, проводимых в подземных лабораториях Швеции (Аспо), Швейцарии (Гримзель) и Канады (Лак-дю-Бонне), а также в Олкилуото (Финляндия) и в Японии. Основное сотрудничество касалось изучения гранитной породы (структурообразование массива, методы разведки, циркуляция воды, способность породы удерживать радиоактивные элементы), а также элементов объектов захоронений и анализа безопасности.

### **Характеристики французского гранита**

Как и в случае с глиной, исследование возможности захоронений в граните состоит в определении характеристик геологической среды и разработке архитектуры захоронения, основанной на этих характеристиках, в целях изоляции отходов на очень долгий срок и в соответствии с требованиями принципа обратимости.



*Расположение гранитных массивов во Франции*

### **Свойства гранита, важные для захоронения**

За неимением конкретной площадки исследований разработка захоронения основывается на общих свойствах французских гранитов. Гранит обладает свойствами, полезными для захоронения долгоживущих высокоактивных отходов: твердость, прочность, слабая пористость, очень незначительная водопроницаемость и хорошая теплопро-

водность. Большинство гранитных массивов простирается вглубь, предоставляя большую свободу для проектирования захоронения.

Возможные различия в составе породы от одной точки массива к другой не меняют значительно ее свойств. Трещинами, проходящими через массив, напротив, пренебрегать не следует. Маленькие трещины, достигающие порой нескольких десятков метров, могут значительно влиять на локальную водопроницаемость породы. Что касается разломов, которые могут достигать многих километров, то они гораздо менее многочисленны. Они образуют наиболее типичные направления течения воды, но оно происходит медленно и на большой глубине. Наконец, химическая обстановка на глубине благоприятна для сохранения материалов захоронения и изоляции большинства радиоактивных веществ.

### *Разные виды гранитов*

Исследуемые гранитные области были описаны на основе картографических данных о поверхности и характеристик, экстраполированных на глубину, исходя из геологических знаний и вычислений. Затем ANDRA распределило французские граниты на различные категории и оценило их свойства с точки зрения проекта захоронения.

Различия между французскими гранитами (в том, что касается их механической прочности и состава вод) не могут поставить под вопрос предложенные проекты захоронения. Однако их термические свойства (в частности, температуры, достигающие от 17 до 30 °C на глубине 500 м) могут существенно изменить масштабы захоронения.

Большие трещины расположены по-разному в зависимости от массива. Тем не менее, зоны, где могло бы быть размещено захоронение, соответствуют общим для совокупности изученных французских массивов характеристикам.

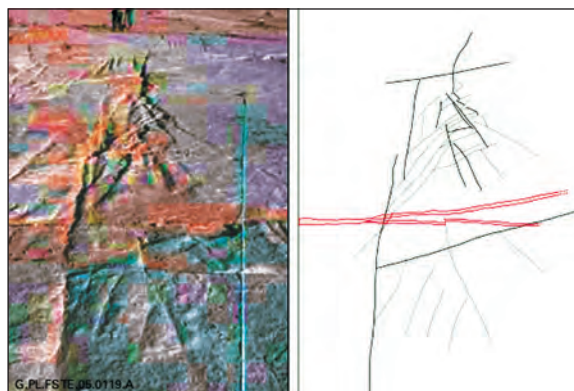
Было выделено три конфигурации массивов, эта классификация позволила подобрать архитектуру захоронения и произвести общие анализы безопасности.

### **Где расположены гранитные массивы, рассматриваемые в исследованиях?**

Не располагая конкретной площадкой, ANDRA изучило различные гранитные массивы, создав их типологию и оценив их свойства. Это затронуло 78 областей площадью более 20 км<sup>2</sup>, расположенных в Центральном массиве и на Армориканской возвышенности в стороне от больших разломов.



*Незаконченный обелиск в гранитном карьере в Асуане (Египет)*



*Детали структуры большого разлома*

### Не является ли наличие разломов противопоказанием для захоронения?

Несмотря на то, что трещины гранита позволяют воде просачиваться и поэтому представляют опасность, они также являются причиной явлений, способных остановить или замедлить миграцию радиоактивных элементов. Действительно, в них могут быть удержаны радиоактивные вещества, также могут образоваться намывы.

Эксперименты, проведенные в недрах породы, в частности в подземной лаборатории Аспо в Швеции, позволили понять эти явления. Тем не менее, выявление гранитных массивов без трещин остается основной целью, т. к. именно в таких массивах изучается захоронение отходов.

## Конструкция захоронения

### *Проект, учитывающий трещины гранита*

Установленное в стороне от больших разломов захоронение разделено в зависимости от категории отходов (В, С) или отработанного топлива (ОЯТ) на зоны, рас-

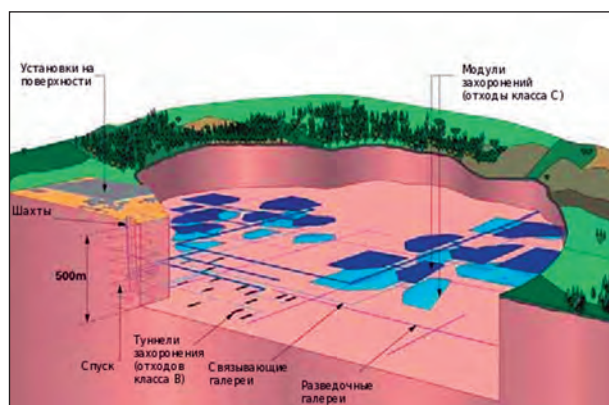


Схема возможного захоронения в граните

положенные на достаточном расстоянии друг от друга, чтобы избежать термических или химических взаимодействий между контейнерами. Каждая зона подразделена на модули, объединяющие несколько ячеек. Чтобы ограничить циркуляцию вод, эти ячейки встроены в гранитные малопроницаемые «блоки» без трещин. Места доступа к захоронению, связывающие его с поверхностью, установлены таким образом, чтобы избежать дренирования поверхностных вод.

Толщина гранита, доступного на глубине между 300 и 1000 м, дает возможность приспособить конструкции захоронения к трещинам гранита. Захоронение может быть спроектировано на двух разных уровнях, отстоящих друг от друга на сотню метров.

### *Противофильтрационные глиняные затворы*

Шахты доступа и галереи захоронения могут пересекаться с трещинами, проводящими воду. Чтобы ограничить циркуляцию воды в захоронении и помешать миграции радиоактивных элементов в окружающую среду, галереи и средства доступа засыпаются в ходе их постепенного закрытия. Исходя из принципа обратимости, их всегда можно будет снова открыть, чтобы получить доступ к контейнерам. Также в галереях устанавливаются запечатывающие участки из набухающей глины на пересечениях с трещинами. Ячейки закрываются пробками из малопроницаемой набухающей глины.

### *Непроницаемые контейнеры для долгосрочного захоронения*

Отходы, доставляемые производителями, помещаются в контейнеры. Контейнеры для отходов категории В и С идентичны контейнерам, предложенным для захоро-



нения в глинистой среде (бетон для первых и сталь для вторых), для обработанного топлива ANDRA выбрало медные контейнеры, используемые в Швеции и Финляндии. Опыты в натуральную величину в шведской лаборатории Аспо в настоящее время апробируют этот проект.

***Физико-химическое окружение, благоприятное для контейнеров***

Ячейки С и ОЯТ оснащены барьером из набухающей глины, которая ограничивает химические контакты между контейнерами и водой, поступающей через гранит, и защищает от мелких трещин. Материалы, из которых состоит захоронение (бетон, сталь или медь контейнеров, набухающая глина, элементы закрытия и закупорки) представляют физико-химическое окружение, благоприятное для контейнеров и удержания радиоактивных элементов.

***Архитектура, ограничивающая воздействие температур***

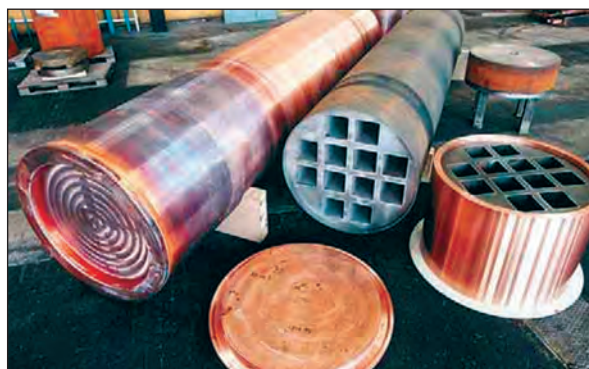
Гранит — прочная порода. Галереи и ячейки спроектированы в целях обеспечения их механической стабильности на долгое время.

Контроль над последствиями тепла, излучаемого контейнерами С и ОЯТ, осуществляется за счет ограничения максимальных температур для инженерных барьеров до 90 °С, сокращения количества контейнеров на ячейку и отдаления ячеек друг от друга.

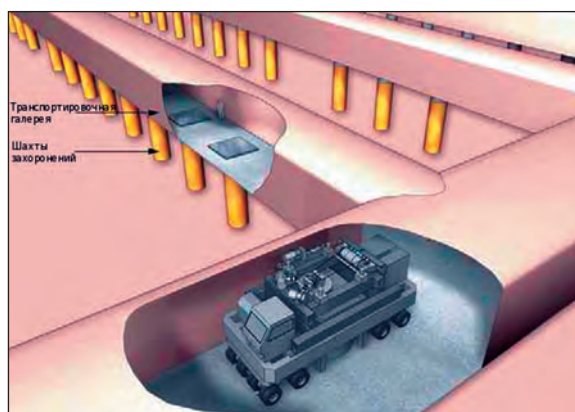
**Как будет выглядеть ячейка захоронения в граните?**

Предложенное решение для ячеек с отходами категории В — это бурение горизонтального туннеля, в котором контейнеры будут размещаться в несколько рядов. Его длина (от 70 до 200 м) учитывает трещины гранита. Глубина туннеля составляет около десяти метров, а ширина варьируется от 10 до 20. Контейнерами управляют дистанционно и размещают их в ячейки через камеру безопасности. При закрытии ячейки камера засыпается и галерея доступа запечатывается пробкой из набухающей глины, которая препятствует попаданию воды. Подобный принцип изучается в Японии.

Для отходов категории С был выбран принцип вертикальных шахт (12 м в длину при диаметре 2 м). Эта шахта, размещающая от 2 до 5 контейнеров в зависимости от выделяемого тепла, выходит в галерею. Между контейнерами и породой расположен барьер из набухающей глины.



*Медный контейнер, изучаемый шведской организацией SKB*



*Проект захоронения отходов категории С в гранитной среде*



### **Как будут устроены галереи?**

Туннели располагаются на расстоянии многих десятков метров от трещин, проводящих воду, в то время как захоронение на двух уровнях позволяет использовать наиболее водонепроницаемую часть породы между трещинами.

### **Является ли захоронение в граните безопасным и обратимым?**

Принципы безопасности и обратимости захоронения в граните идентичны принципам захоронения в глине. На данной стадии, ввиду отсутствия площадки, детальная оценка безопасности не может быть произведена. Тем не менее, исследования не выявили ничего противоречащего долгосрочному безопасному захоронению в граните. Чтобы соответствовать принципу обратимости, захоронение в граните представляет аналогичные гарантии, что и захоронение в глине.

### **Этапный итог, новые перспективы**

#### *Пятнадцать лет значительных успехов в области исследований*

В западных странах глубинное захоронение изучается с 1960-х годов. После принятия закона от 1991 года исследования во Франции совершили большой шаг вперед, были привлечены многие специалисты, чтобы подвести итоги основательным научным исследованиям. Во всех областях исследований получены значительные результаты, позволяющие дать точное представление о свойствах всех составляющих захоронения.

**Преимущества площадки Мёз/Верхняя Марна.** Большие успехи в изучении глинистой среды были сделаны в течение более 10 лет на площадке Мёз/Верхняя Марна. В подземной лаборатории были собраны важные данные, и она представляет собой ценное преимущество, если понадобится дополнить уже полученные результаты.

Проводимые параллельно с исследованиями на французской территории работы в зарубежных подземных лабораториях позволили подтвердить ход анализов агентства ANDRA

**Привлечение специалистов высокого уровня.** ANDRA задействовало лучшие французские и зарубежные лаборатории в каждой из сфер исследований. Получение результатов обсуждалось согласно правилам академического сообщества и со всей точностью. Все это гарантирует высокое качество проделанной работы.

**Регулярная оценка со стороны.** ANDRA обращалось к сторонним экспертам, чтобы сравнить свои исследования с лучшими международными практиками. В 2002—2003 годах международные эксперты изучили результаты научного доось о глине и сформулировали очень обнадеживающие выводы. Их рекомендации были включены в Досье «Глина 2005» и «Гранит 2005».

Результаты исследований агентства ANDRA и его партнеров опубликованы в международных научных журналах и, таким образом, представлены на суд научному сообществу.

*Реализуемость захоронений в глине не оставляет сомнений*

**Благоприятные условия площадки Мёз/Верхняя Марна**

Келловейско-оксфордский пласт обладает очень полезными качествами, соответствующими тому, что необходимо для захоронения в глине. По предварительным данным, этими же качествами обладает территория площадью более 200 км<sup>2</sup>. Инженерные исследования, основывающиеся на очень консервативных решениях, определили простые и надежные принципы захоронения, учитывающие характеристики глинистого слоя.

**Обратимость — доказанная необходимость**

ANDRA разработало подход, который нельзя свести лишь к возможности извлечь контейнеры. Он может быть определен как возможность постепенного и гибкого поэтапного управления захоронением, предоставляющего будущим поколениям свободу выбора решений. Также ANDRA решило не определять априори сроков возможной обратимости.

Таким образом, обратимое захоронение может играть двойную роль. Оно может быть использовано как временное хранилище с размещением отходов и, при необходимости, с их извлечением. Но также возможно его постепенное закрытие в целях безопасного развития захоронения без человеческого вмешательства.

**Отсутствие значительного воздействия на окружающую среду**

Одно из главных достижений исследований — построение сценария развития захоронений на ближайшую сотню тысяч лет с целью понять, как будет эволюционировать система, а также какие риски и неопределенности с этим связаны.

Анализ показал, что принципы безопасности соблюдены. Консервативные и даже пессимистичные предположения, которыми руководствовалось ANDRA, предоставляют значительный запас безопасности. Полученные выводы актуальны не только при нормальном развитии захоронения, но также и в случае отклонений: нарушения каких-либо элементов захоронения или вторжения внутрь последнего.



*Исследовательская лаборатория Мёз/Верхняя Марна*

Воздействие на человека и окружающую среду с большим запасом удовлетворяет современным нормам и рекомендациям.

*Рассматривается возможность захоронения в граните*

Исследования по граниту показали, что захоронение в гранитных массивах Франции не представляет неразрешимых проблем. Из-за отсутствия экспериментальной площадки исследования основываются на общих принципах концепции захоронения. Были изучены различные технические решения для проекта обратимого захоронения. Работы во многом опираются на опыт Швеции и Финляндии, которые развивают программу захоронения в граните. Было проведено множество экспериментов при сотрудничестве с зарубежными лабораториями.

Основное сомнение касается существования массива гранита, не обладающего слишком высокой концентрацией трещин, которые бы сильно ограничили возможности проектирования захоронения.

*После 2006: каковы перспективы исследований по глине?*

Благодаря проведенным за последние 15 лет исследованиям были собраны данные, позволяющие ответить на вопрос реализуемости принципа захоронения в глине. Тем не менее, некоторые сомнения остаются.

Вне зависимости от решений, которые Парламент сочтет нужным принять, следует отметить некоторые моменты, необходимые для представления дальнейших перспектив, открытых благодаря результатам исследований:

- Эксперименты были проведены в короткие сроки. Логика протекания физических процессов требует оставить экспериментальные механизмы еще на несколько лет в целях сбора данных.
- Барьерные конструкции не были протестированы в натуральную величину. Было бы полезно создать прототипы ячеек в недрах породы. Также необходима работа по улучшению инженерных работ, если постепенно ориентироваться на выполнение конечной промышленной задачи.
- Не было произведено глубокого изучения области площадью более 200 км<sup>2</sup> вокруг площадки Мёз/Верхняя Марна; вопрос возможного размещения захоронения в этой области требует дополнительных работ.
- Наконец, некоторые элементы захоронения были спроектированы при помощи упрощенных и консервативных моделей. В рамках более практичного и целевого подхода было бы полезно оценить запас безопасности и уменьшить остающиеся неопределенности.

Если бы возникла необходимость подтвердить правомерность результатов, полученных агентством, и если Правительство желает продолжать работы по глубинному захоронению в глине, то ANDRA могло бы продолжить свои работы в этих направлениях.

Вначале следовало бы перейти от настоящей фазы, в рамках которой оценивается принципиальная возможность реализации проекта захоронения, к фазе разработок, которая бы заняла около пяти лет. Эта фаза позволила бы дать ответ на возможные вопросы экспертов в 2006 году и сконцентрироваться на практическом применении технологий.

Также нужно будет собрать необходимые данные для определения местоположения будущего захоронения. В частности, нужно будет провести сейсмическую раз-

ведку на обширной территории. Что касается лаборатории Мёз/Верхняя Марна, то она будет основным средством для продолжения сбора данных и проведения опытов технологического характера непосредственно в недрах породы.

Эта фаза могла бы завершиться общей проверкой. В том случае, если научные и технические результаты получат благоприятную оценку, станет возможным переход к стадии промышленного развития. Чтобы дать представление о временных масштабах, развитие такого подхода могло бы привести к промышленной реализации захоронения к 2025 году.



**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ  
И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Том 2

Подписано в печать 05.12.12. Формат 60×84/8. Печать офсетная.  
Усл.-печ. л. 49. Тираж 300 экз.

**ОАО «ЭНЕРГОПРОМАНАЛИТИКА»**  
119017, Москва, Пыжевский пер., д. 6