













Итоги реализации федеральной целевой программы

«ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА 2016 — 2020 ГОДЫ И НА ПЕРИОД ДО 2035 ГОДА»

в 2021—2025 годах

2 этап

Итоги реализации федеральной
целевой программы

«ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА 2016 — 2020 ГОДЫ И НА ПЕРИОД ДО 2035 ГОДА»

в 2021—2025 годах

2 этап

УДК 621.039
ББК 31.4

Настоящий информационно-аналитический материал отражает основные итоги реализации Программы за период 2021-2025 годы и направлен на обеспечение информационной доступности и прозрачности выполняемой деятельности в области обращения с отработавшим ядерным топливом, радиоактивными отходами и вывода из эксплуатации объектов ядерного наследия.

Материал позволяет гражданам лучше разбираться в вопросах ядерной и радиационной безопасности, повысить доверие к эффективности и качеству принимаемых решенийв этой области и будет полезен и интересен как специалистам по ядерной и радиационной безопасности, так и широкому кругу читателей.

Информационной основой подготовленного материала является официальная отчетность государственных заказчиков и исполнителей мероприятий Программы.

Информационно-аналитический материал «Итоги реализации федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016—2020 годы и на период до 2035 года» в 2021—2025 гг.». М.: Госкорпорация «Росатом». 2026. —212 с. : ил. (в пер.)

© Госкорпорация Росатом, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Вступительное слово от Госкорпорации «Росатом» **7**

Вступительное слово от ФМБА России **9**

Вступительное слово от Ростехнадзора **11**

Введение **13**

1 Управление Программой **20**

2 Общие итоги реализации Программы за 2021–2025 годы **30**

2.1 Параметры реализации Программы **30**

2.2 Обзор основных итогов практических и научно-исследовательских работ в рамках реализации второго этапа Программы **33**

3 Решение накопленных проблем в области обращения с ОЯТ **40**

3.1 Создание новых мощностей по транспортировке, хранению и переработке ОЯТ **41**

3.1.1 Создание опытно-демонстрационного центра по переработке ОЯТ на ФГУП «ГХК» 41

3.1.2 Создание комплекса по обращению с ОЯТ АМБ на ФГУП «ПО «Маяк» 44

3.1.3 Строительство объектов обращения с ОЯТ на АЭС 45

3.2 Обеспечение централизованного хранения и переработки ОЯТ **46**

3.2.1 Транспортирование ОЯТ на централизованное хранение на ФГУП «ГХК» 46

3.2.2 Транспортирование ОЯТ на переработку на ФГУП «ПО «Маяк» 49

3.2.3 Общие итоги работ 50

4 Решение накопленных проблем в области обращения с РАО **54**

4.1 Проектирование и строительство ПИЛ в составе ПГЗРО для РАО классов 1 и 2 ..... **55**

4.2 Строительство пунктов финальной изоляции РАО классов 3 и 4 72
4.3 Создание инфраструктуры по переработке РАО 77
4.4 Реконструкция пунктов хранения РАО 83
4.5 Консервация пунктов размещения особых РАО 84
4.6 Безопасное извлечение из пунктов хранения и передача на захоронение удаляемых РАО и обращение с металлическими отходами 89

5 Вывод из эксплуатации (ликвидация) и консервация ЯРОО 102

5.1 Вывод из эксплуатации энергоблоков АЭС 103
5.2 Вывод из эксплуатации ПУГР 107
5.3 Вывод из эксплуатации объектов ЯТЦ 112
5.4 Вывод из эксплуатации ОИАЭ 119
5.5 Вывод из эксплуатации ПХРО 127
5.6 Вывод из эксплуатации исследовательских реакторов и установок 131
5.7 Вывод из эксплуатации и утилизация атомных ледоколов и судов АТО 140

6 Реабилитация радиационно загрязненных территорий и ЯРОО 144

7 Обеспечение безопасности отдельных объектов, содержащих радиоактивные отходы, радиоактивные вещества и ядерные материалы 150

8 Развитие систем контроля и обеспечения ядерной и радиационной безопасности и повышение защищенности работников (персонала) объектов использования атомной энергии, населения и окружающей среды от радиационного воздействия 156

8.1 Строительство объектов медицинского обеспечения 156
8.2 Работы по совершенствованию систем обеспечения и контроля ЯРБ объектов ядерного наследия 159
8.3 Научно-исследовательские работы в области медико-санитарного обеспечения радиационной безопасности сотрудников атомной промышленности 160
8.4 Развитие государственного регулирования безопасности объектов использования атомной энергии 163

9 Научно-методическое и информационное сопровождение работ в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности 168

9.1 Повышение эффективности обращения с РАО 168

9.2 Создание цифровых информационных моделей ЯРОО 169

9.3 Разработка и практическое внедрение кодов и расчетно-прогностических комплексов для обоснования безопасности объектов наследия, пунктов захоронения РАО и обеспечения безопасности населения и окружающей среды 179

9.4 Совершенствование оценок безопасности 185

10 Публичность реализации мероприятий Программы 190

Заключение 195

Список использованных источников 197

Список аббревиатур 199



ОТ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Никипелов Андрей Владимирович

Заместитель генерального директора по машиностроению и индустриальным решениям Госкорпорации «Росатом»

Ядерное наследие — это требующие особого внимания объекты и территории, которые остались после десятилетий становления и развития атомной отрасли в нашей стране. Госкорпорация «Росатом» ведет системную работу по устранению связанных с ним рисков: мы выводим из эксплуатации опасные объекты, реабилитируем территории и создаем инфраструктуру, которая обеспечит безопасность на долгие годы.

Это целый спектр технологически сложных задач. За решение многих из них до нас никто в мире не брался. Ключевую роль в этой работе играет федеральная целевая программа по обеспечению ядерной и радиационной безопасности. За каждой строкой программы — уникальные отечественные технологии и работа большой команды: инженеров, ученых, строителей и специалистов многих других профессий.

На первых этапах программы мы сосредоточились на самых неотложных задачах. Теперь, когда этот этап успешно пройден, можем работать последовательно и планомерно. В 2022 году программу продлили еще на пять лет — до 2035 года. К этому сроку мы планируем завершить реализацию следующей части проектов, благодаря которым удастся решить около половины накопленных в нашей стране проблем ядерного наследия.

За последние пять лет мы вывели из эксплуатации 29 ядерно- и радиационно-опасных объектов и реабилитировали почти полмиллиона квадратных метров загрязненных территорий в 23 регионах России. Среди этих объектов — бывшие производственные здания, промышленные уран-графитовые реакторы и исследовательские установки. Продолжается плановый вывоз отработавшего ядерного топлива с атомных электростанций и работа с накопленными радиоактивными отходами.

Мы набрали хороший темп и стремимся разумно использовать средства, время и ресурсы отрасли. Новые технологии помогают делать больше и работать эффективнее. Но есть принцип, который остается неизменным: безопасность всегда на первом месте.

Перед нами стоит цель обеспечить будущее атомной энергетики. Сейчас «Росатом» работает над созданием замкнутого ядерного топливного цикла, который позволит сделать атомную энергетику почти безотходной. Поэтому важнейшая задача на ближайшие годы — развивать технологии и мощности для переработки отработавшего ядерного топлива. Так, в 2025 году введен в эксплуатацию второй пусковой комплекс Опытно-демонстрационного центра по переработке ОЯТ в Железногорске. Здесь будут испытывать оборудование и технологии для будущего завода большой производительности.

Благодаря совместной работе предприятий «Росатома», научных организаций, федеральных ведомств и надзорных органов опасного ядерного наследия в нашей стране становится меньше, а знаний, опыта и инфраструктуры для обеспечения безопасности — больше. Благодарю всех участников программы за профессионализм и труд, благодаря которым стали возможны эти результаты.



ОТ ФМБА РОССИИ

Борисевич Игорь Владимирович

Заместитель руководителя ФМБА России

Федеральное медико-биологическое агентство является одним из государственных заказчиков федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2035 года». Мероприятия ФМБА России по медико-гигиеническому обеспечению радиационной безопасности работников радиационно опасных объектов и предприятий полностью соответствует основной цели Программы — комплексное обеспечение ядерной и радиационной безопасности путем ликвидации первоочередных проблем ядерного наследия.

Достигнутые ФМБА России результаты за период выполнения второго этапа Программы с 2021 по 2025 год, применяются в интересах персонала обслуживаемых радиационно опасных предприятий и населения прилегающих территорий, востребованы в практическом здравоохранении, в лечебно-профилактических учреждениях ФМБА России для улучшения состояния здоровья, продолжительности и качества жизни.

Основные из них.

Проведено радиационно-гигиеническое обследование площадок уранового наследия в Калмыкии (шахта «Степная»), Ставропольском крае (ЛПО «Алмаз»), Забайкальском крае (Стрельцовская группа месторождений), Курганской области.

Разработан макет аппаратно-программного комплекса для проведения психофизиологического обследования персонала радиационно опасных производств. Полученные результаты позволят усовершенствовать профессиональный отбор, а также проведение экспертизы связи заболевания с профессиональной деятельностью работников атомной промышленности.

Организация и проведение противоаварийных учений в рамках взаимодействия МСЧ ФМБА России и ЦГиЭ ФМБА России, а также межведомственных противоаварийных учений с предприятиями Госкорпорации «Росатом». В ходе учений отрабатывались вопросы совершенствования информационного, научно-методического и экспертно-аналитического сопровождения учреждений в зонах ответственности региональных аварийных медико-дозиметрических центров ФМБА России.

Разработан высокотехнологичный метод лечения местных радиационных поражений с помощью биомедицинских клеточных продуктов.

Проводилась(-тся) гармонизация регулирующих документов Российской Федерации с рекомендациями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ).

На постоянной основе проводилось(-тся) пополнение регистров, входящих в Объединенный медико-дозиметрический регистр, в том числе Медико-дозиметрический регистр работников радиационно опасных предприятий.

В целях постоянного мониторинга здоровья персонала радиационно опасных производств и установления индивидуального радиационного риска на ранних стадиях радиационного воздействия созданы базы данных:

- макет базы данных на основе медико-технических требований по оценке состояния здоровья населения, проживающего вблизи территорий объектов уранового наследия;
- база данных радиационных параметров в районе расположения рудников Лермонтовского производственного объединения «Алмаз»;
- база данных биологического банка биологического материала лиц с радиационным облучением и работающих на радиационно опасных предприятиях.

Подводя итоги минувшего этапа федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2035 года» следует подчеркнуть очевидную особенность — это развитие новых направлений, многогранность практических результатов и комплексный характер мероприятий медико-санитарного обеспечения персонала.



ОТ РОСТЕХНАДЗОРА

Ферапонтов Алексей Викторович

Заместитель руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору

Уважаемые коллеги!

Ядерное наследие — это не только страница истории отечественной атомной отрасли. Это наша общая ответственность перед людьми, которые живут рядом с атомными объектами сегодня, и перед поколениями, которым предстоит жить на этой земле завтра. Каждый объект, приведённый в безопасное состояние, каждое решение в сфере обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами — это не строка в отчёте, а реальный вклад в защиту человека и природы.

Пять лет второго этапа Программы — с 2021 по 2025 год — стали временем большой, последовательной и во многом незаметной для общества работы. Незаметной именно потому, что она выполнена надёжно: риски, накопленные десятилетиями, планомерно снижаются, а безопасность становится нормой, а не исключением.

В этой работе у каждого своя роль. Ростехнадзор выступает государственным заказчиком по части мероприятий ФЦП ЯРБ-2, а ФБУ «НТЦ ЯРБ» — его надёжным научно-техническим партнёром. Вместе мы проходим весь путь: от экспертной оценки до развития нормативной и методической базы. И именно лицензионно-надзорные функции Ростехнадзора служат той опорой, на которой строится практическая реализация мероприятий непосредственно на атомных объектах.

Итоги, представленные в настоящем материале, говорят сами за себя. За ними — значительное число объектов, широкий спектр направлений деятельности и слаженная работа множества организаций. Главный результат — последовательное снижение техногенных рисков для населения и окружающей среды. Он достигнут благодаря приведению объектов ядерного наследия в ядерно и радиационно безопасное состояние и развитию современной инфраструктуры обращения с ОЯТ и РАО.

Безопасность была и остаётся ключевым приоритетом Ростехнадзора. Поэтому мы не останавливаемся на достигнутом: внедряем современные подходы к регулированию, последовательно гармонизируем отечественную нормативную базу с международными рекомендациями. А совместная работа Ростехнадзора и Госкорпорации «Росатом» позволяет решать накопленные задачи системно — опираясь на лучшие отраслевые и мировые практики.

Хочу искренне поблагодарить всех, кто вложил свои знания, опыт и силы в реализацию Программы: специалистов регулятора и научно-технической поддержки, эксплуатирующих организаций, проектных и научных институтов. Впереди — следующий этап, рассчитанный до 2035 года. Уверен, что накопленный опыт и сложившееся партнёрство позволят нам пройти его так же ответственно и результативно.

Безопасность не бывает «достаточной» — она требует постоянного труда. И этот труд мы продолжим вместе.

ВВЕДЕНИЕ

Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016—2020 годы и на период до 2035 года» (далее — Программа или ФЦП ЯРБ-2) разработана в соответствии с поручением Председателя Правительства Российской Федерации от 2 июня 2014 г. № ДМ-П7-4107р. Концепция Программы утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2015 года № 760-р, а сама Программа — постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2015 года № 1248 [1].

Программа является логическим продолжением работ по решению проблем ядерного наследия (ядерное наследие — это объекты использования атомной энергии в мирных и оборонных целях, созданные до установления современных требований к обеспечению ядерной и радиационной безопасности), реализуемых в предшествующий период в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (далее — ФЦП ЯРБ) (рисунок 1).



Рисунок 1 **Процесс формирования и реализации ФЦП ЯРБ и ФЦП ЯРБ-2**

Реализация ФЦП ЯРБ позволила решить самые острые проблемы ядерного наследия, уточнить его основные количественные характеристики и параметры и получить оценки продолжительности и объема требуемых работ (рисунок 2).

Окончательное решение накопленных проблем ядерного наследия включает в себя вывод из эксплуатации всех ЯРОО наследия, переработку всего находящегося в федеральной собственности ОЯТ с захоронением образующихся РАО, переработку и захоронение накопленных удаляемых РАО, консервацию пунктов размещения накопленных особых РАО и реабилитацию радиационно загрязненных территорий.

К концу реализации ФЦП ЯРБ ситуация с ядерным наследием в России была переведена из статуса критической в контролируемую и управляемую.

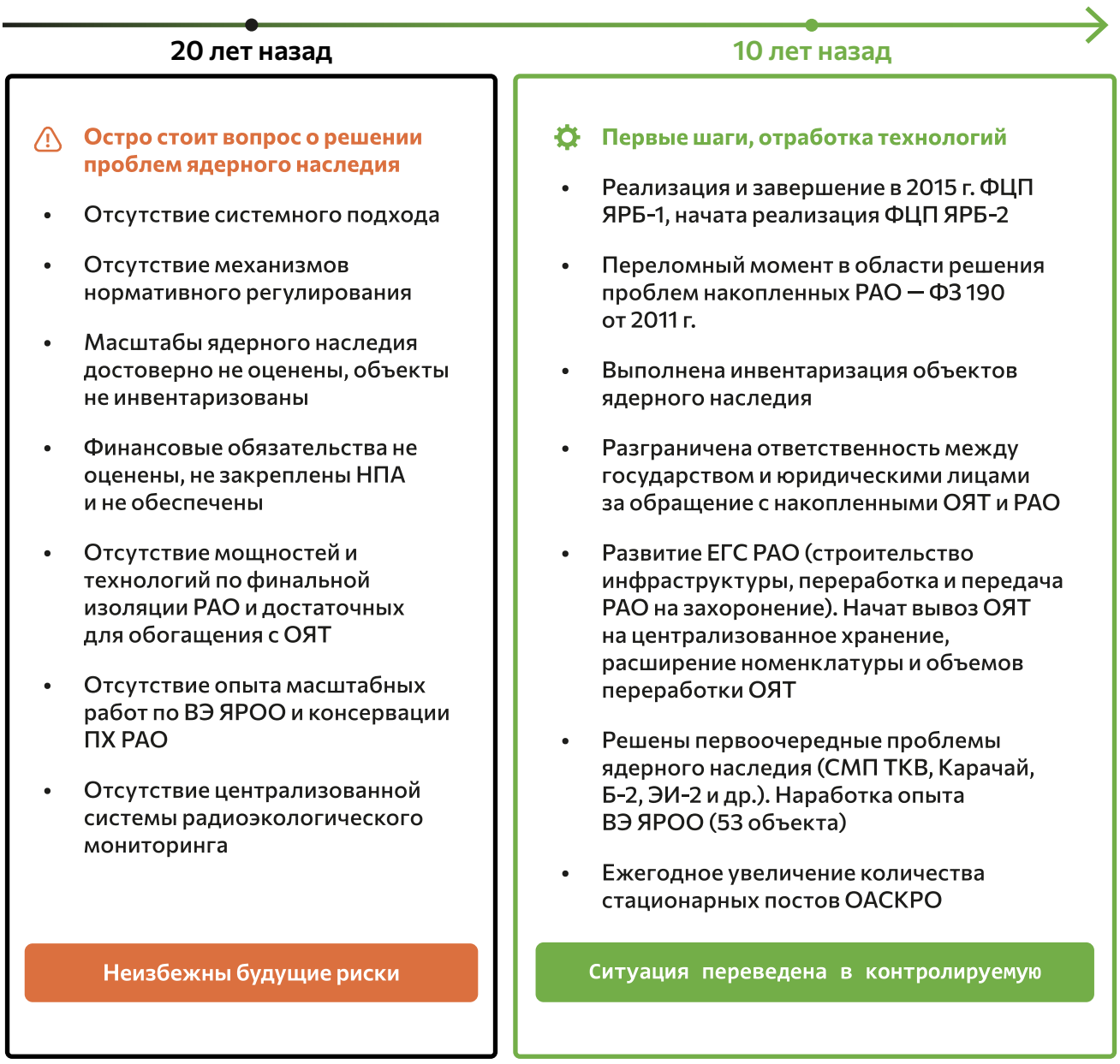
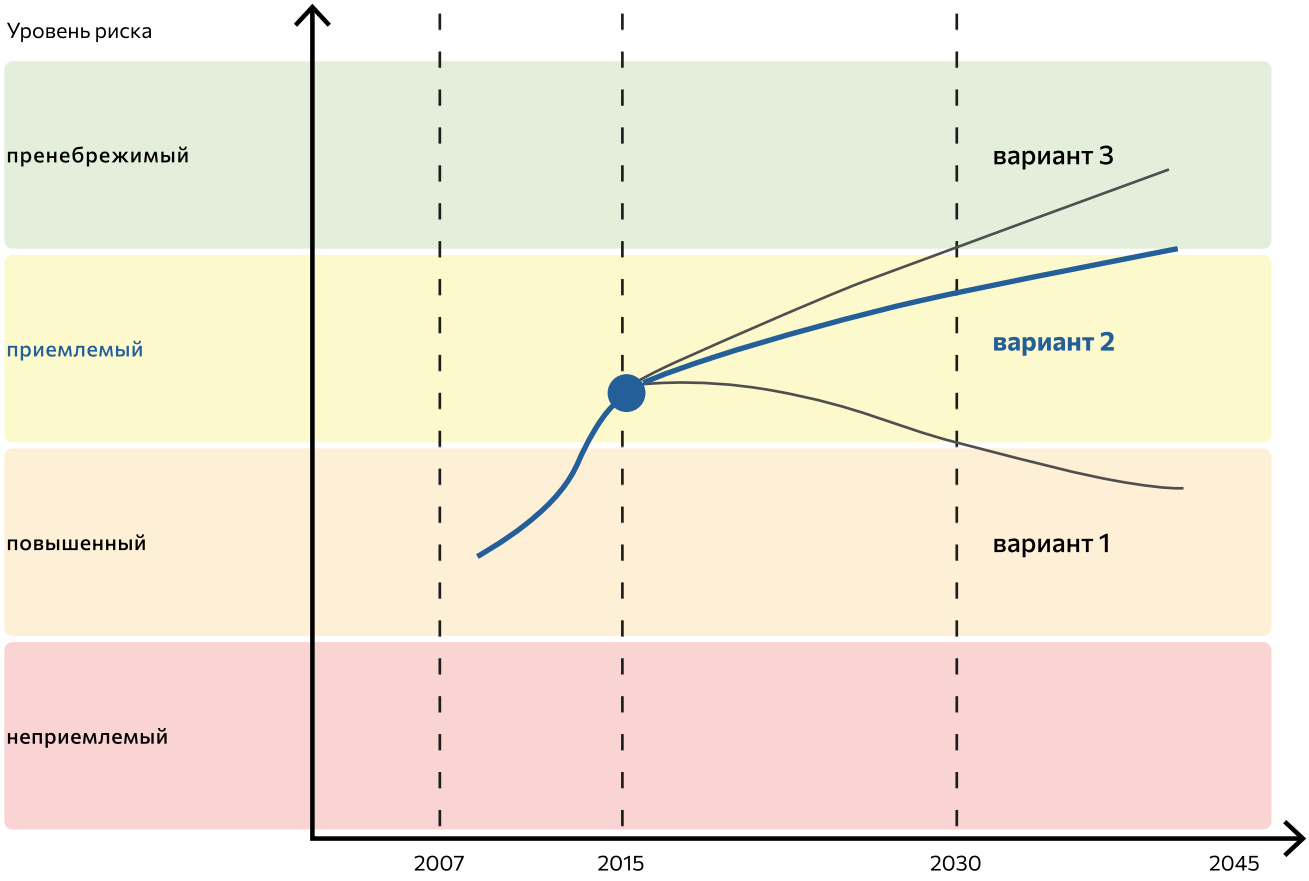


Рисунок 2 **Проблемы ядерного наследия в начале XXI века**

При разработке концепции ФЦП ЯРБ-2 рассматривались несколько вариантов продолжения решения проблем ядерного наследия и обеспечения ядерной и радиационной безопасности в увязке с необходимыми финансовыми ресурсами: от минимальных работ — поддержания в безопасном состоянии ЯРОО только за внебюджетные (собственные) средства (пессимистический сценарий) до максимально ускоренного одновременного выполнения работ по выводу из эксплуатации объектов, переработке накопленных ОЯТ и РАО и реабилитации радиационно загрязненных территорий (интенсивный сценарий). Выбранный сбалансированный вариант реализации ФЦП ЯРБ-2 предусматривает гарантированное обеспечение ЯРБ, в том числе позволяет создать все необходимые элементы национальной системы обращения с ОЯТ и РАО (рисунок 3).



	Вариант 1 Пессимистичный	Вариант 2 Гарантированное решение проблем ЯН	Вариант 3 Интенсивное решение проблем ЯН
	₽ 130 млрд руб.	₽ 595 млрд руб.	₽ 1200 млрд руб.
Проблемы ОЯТ	только безопасное хранение	**решены на 70%**	решены на 80%
Проблемы РАО	только безопасное хранение	**решены на 20%**	решены на 50%
ВЭ ЯРОО	не ведется	**~80 ЯРОО**	~200 ЯРОО
Реабилитация РЗТ	не ведется	**50%**	100%
Количество высокорисковых ЯРОО	увеличение в 2-3 раза	**уменьшение в 2-3 раза**	уменьшение в 3-4 раза

Рисунок 3 **Выбор стратегии реализации Программы**

Целью Программы является комплексное обеспечение ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации путем планомерного решения проблем ядерного наследия. Контекст реализуемых в рамках Программы работ определяется масштабом проектов с долгосрочным (несколько десятилетий) горизонтом планирования и нацеленностью на эффективный и сбалансированный вывод из эксплуатации объектов ядерного наследия, консервацию пунктов размещения «особых» РАО, безопасное долгосрочное централизованное хранение и переработку ОЯТ, приведение к критериям приемлемости и захоронение удаляемых накопленных РАО. Эти работы в комплексе направлены на достижение целей и задач государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности России на период до 2025 года и дальнейшую перспективу (утверждены Указом Президента Российской Федерации от 13 октября 2018 г. № 585 [2]), в том числе планомерное снижение финансовых обязательств государства на решение проблем, возникших вследствие деятельности в XX веке в области использования атомной энергии.

Программа соответствует приоритетам социально-экономического развития Российской Федерации, установленным распоряжением Правительства Российской Федерации от 06.10.2021 № 2816-р «Об утверждении перечня инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года» [3], и направлена на обеспечение комфортной и безопасной среды для жизни и экологическое благополучие, являющихся национальными целями развития Российской Федерации (утверждены указом Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года»).

Краткие итоги реализации первого этапа Программы (2016–2020 годы)

За первый этап реализации ФЦП ЯРБ-2 введены в эксплуатацию 9 объектов инфраструктуры по обращению с ОЯТ и РАО, набраны необходимые темпы практических работ и достигнуты качественные изменения в части вывода из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов.

Существенные результаты получены в части обращения с находящимся в федеральной собственности ОЯТ:

- переработано более 90 % ОЯТ ВВЭР-440 и ОЯТ БН-600;
- на долговременное хранение размещено около 28 % ОЯТ РБМК-1000;
- хранилища АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» освобождены от ОЯТ на 92,8 %;
- полностью вывезено и переработано ОЯТ типов АМ, ВТ, ТЭС-3, ЭК-10, а ОЯТ типа ВМ – на 91,5 %.

В области обращения с РАО важным результатом стал ввод в эксплуатацию второй очереди пункта финальной изоляции РАО в г. Новоуральск Свердловской области проектной мощностью 39,3 тысяч м^3 (~10 % от значения соответствующего целевого показателя Программы к 2035 году). Суммарно, с учетом первой очереди, объект позволяет разместить до 55 тысяч м^3 РАО. Кондиционировано и передано на захоронение 23,5 тысяч м^3 РАО (~15 % от значения соответствующего целевого показателя Программы к 2035 году).

По 35 ЯРОО Завершены мероприятия по выводу из эксплуатации и переводу пунктов размещения накопленных особых РАО в пункты консервации особых РАО. Реабилитировано 267 тысяч м^2 радиационно загрязненных территорий.

Успешное завершение первого этапа реализации Программы подтвердило ее высокую социальную значимость за счет последовательного безаварийного решения накопленных проблем ядерного наследия, регулярного снижения радиационных и экологических рисков в регионах реализации Программы и создания новых высокотехнологичных рабочих мест на завершающих стадиях жизненного цикла ОИАЭ.

Более подробно с достигнутыми результатами первого этапа Программы можно ознакомиться в первом публичном отчете, размещенном на официальном сайте фцп-ярб.рф [4].



Итоги 2016-2020

Рисунок 4 **Итоги реализации ФЦП ЯРБ-2 в 2016–2020 годах**

В данном информационно-аналитическом материале представлены основные результаты реализации второго этапа Программы (2021–2025 годы). Материал ориентирован на читателя, которого интересуют вопросы ядерной, радиационной и экологической безопасности, определяющие настоящее и будущее атомной отрасли Российской Федерации.

1. УПРАВЛЕНИЕ ПРОГРАММОЙ

1 УПРАВЛЕНИЕ ПРОГРАММОЙ

Основным разработчиком Программы и ее государственным заказчиком-координатором (далее — государственный заказчик-координатор) является Госкорпорация «Росатом». Генеральный директор Госкорпорации «Росатом» выполняет функции руководителя Программы, а также возглавляет ее научно-координационный совет (далее — НКС).

Государственными заказчиками Программы являются:

- Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» (Госкорпорация «Росатом»);
- Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (Минпромторг России);
- Министерство науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России);
- Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор);
- Федеральное медико-биологическое агентство (ФМБА России);
- Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (с 2024 года).

В соответствии с действующим Порядком разработки и реализации федеральных целевых программ в Российской Федерации **[5]** и в целях эффективного управления Программой Госкорпорацией «Росатом» утверждено Положение об управлении реализацией ФЦП ЯРБ-2, регламентирующее порядок взаимодействия государственного заказчика-координатора и государственных заказчиков Программы, а также порядок формирования организационно-финансового плана реализации Программы на очередной год, мониторинга реализации программных мероприятий, механизмов их корректировки и обеспечения публичности информации о Программе [6].

Госкорпорация «Росатом» осуществляет координацию государственных заказчиков Программы, организует своевременное внесение изменений в Программу, представляет регламентированные отчетные материалы о ходе ее выполнения и эффективности использования финансовых средств в Минэкономразвития России, Минфин России, Минвостокразвития России (в части вопросов социально-экономического развития Дальневосточного федерального округа и Арктической зоны Российской Федерации), коллегию Военно-промышленной комиссии Российской Федерации, а также представляет статистическую отчетность о реализации Программы в Росстат.

Управление программными мероприятиями осуществляется соответствующими государственными заказчиками, несущими ответственность за реализацию и конечные результаты мероприятий Программы, рациональное и эффективное использование выделяемых на их выполнение финансовых средств.

Уполномоченные представители всех государственных заказчиков Программы входят в состав Научно-координационного совета Программы [7], созданного в целях выработки единых методических, организационно-технических и технологических подходов при реализации программных мероприятий. НКС, являясь совещательным органом при руководителе Программы, рассматривает предложения Государственных заказчиков по корректировке мероприятий Программы и ежегодно формируемого организационно-финансового плана Программы, содержащего сведения о плановых результатах на очередной год.

В процессе реализации Программы государственные заказчики представляют государственному заказчику-координатору в установленные им сроки:

- регламентированные отчеты о ходе реализации мероприятий Программы и использования финансовых средств в пределах своей ответственности;
- информацию и документацию о реализации мероприятий Программы, в том числе копии актов, подтверждающих ввод в эксплуатацию объектов, строительство которых завершено, копии актов выполненных работ и иных документов, подтверждающих исполнение обязательств по заключенным государственным контрактам и иным гражданско-правовым договорам и достижение целевых показателей.

В случае возникновения внешних или внутренних факторов, существенно влияющих на достижение плановых значений целевых показателей и ход реализации Программы или её отдельных мероприятий, государственные заказчики в зоне своей ответственности организуют подготовку и согласование в установленном порядке внесения изменений в Программу.

Основаниями для подготовки предложений по корректировке Программы являются:

- внесение изменений в объемы финансирования Программы федеральным законом о федеральном бюджете Российской Федерации;
- дополнительные задачи, поставленные Президентом Российской Федерации, Правительством Российской Федерации для решения в рамках Программы;
- новые технические решения и технологии, позволяющие выполнить мероприятия Программы иными, более эффективными и экономически выгодными способами;
- выявленные ранее скрытые проблемы реализации программных мероприятий;
- чрезвычайные ситуации и иные существенные обстоятельства, влияющие на реализацию программных мероприятий.

Государственный заказчик-координатор на основании своих предложений и предложений государственных заказчиков готовит проект внесения изменений в Программу с финансово-экономическими обоснованиями изменений и направляет его на рассмотрение и согласование в Минэкономразвития России, коллегию Военно-промышленной комиссии Российской Федерации, Минфин России, Минвостокразвития России с целью последующего внесения в установленном порядке в Правительство Российской Федерации (рисунок 5).

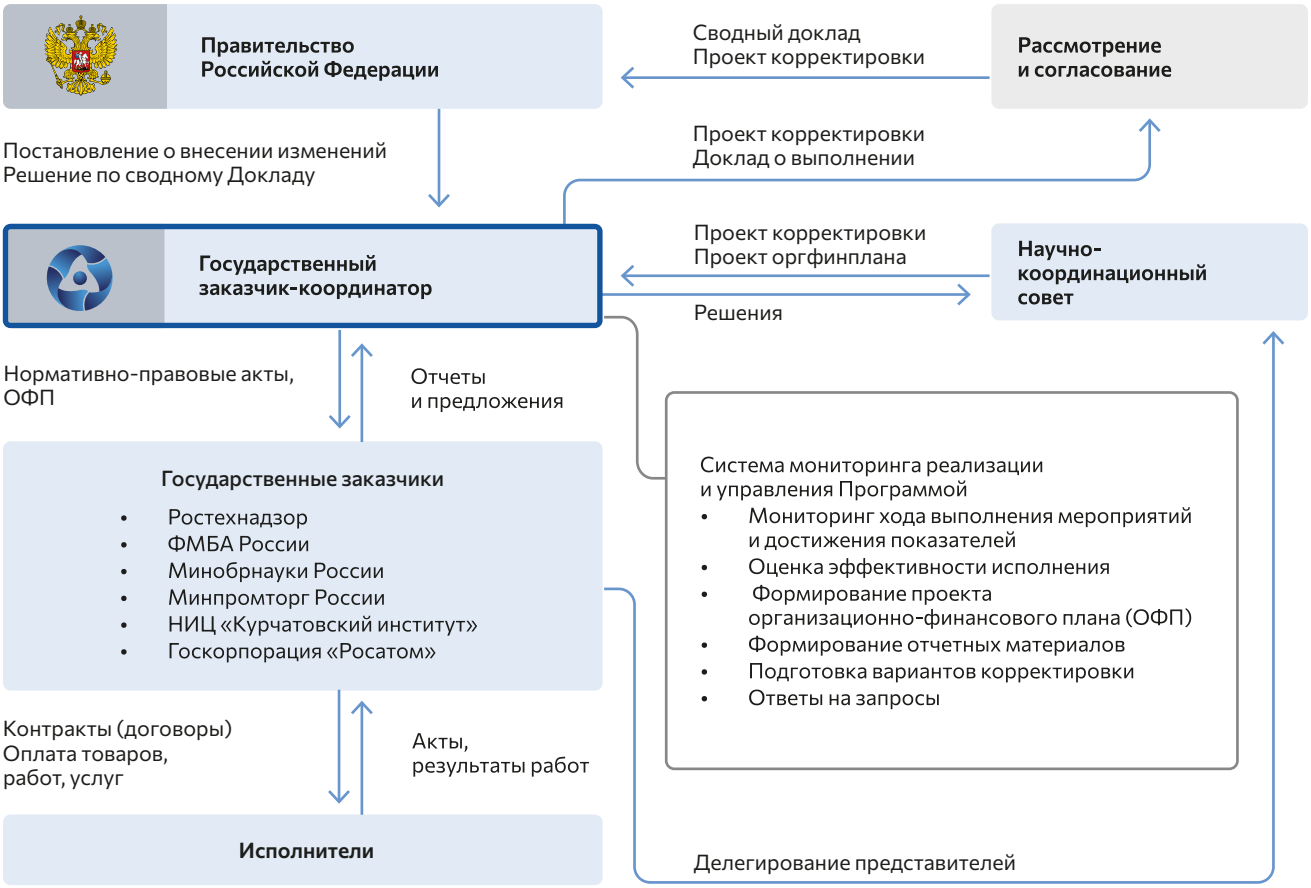


Рисунок 5 **Схема взаимодействия органов управления при реализации и корректировке Программы**

К основным внешним факторам, оказывающим существенное влияние на выполнение мероприятий Программы, относятся прогнозы расходов федерального бюджета Российской Федерации, горизонт планирования которого в настоящее время ограничен трехлетним диапазоном. Реализуемые в рамках Программы проекты строительства, реконструкции или вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии могут осуществляться в течение более длительного срока — пяти и более лет. Условием их успешного выполнения является достаточное и непрерывное финансовое обеспечение, поскольку остановка работ может приводить к нарушениям технологических процессов, повышению радиационных рисков и увеличению конечной стоимости проектов. В случае остановки потребуются дополнительные финансовые вложения на временную консервацию объектов, поддержание их в безопасном состоянии, а впоследствии и на размораживание проектов и возобновление работ.

Начало реализации второго этапа Программы стало настоящим вызовом для достижения поставленных целей. Объявленная на территории Российской Федерации пандемия коронавирусной инфекции COVID-19 и принятые для сдерживания ее распространения временные ограничения и меры спровоцировали приостановку и перенос сроков ряда работ. В условиях неопределенностей относительно экономических последствий пандемии и с учетом сокращения на четверть бюджетного финансирования второго этапа (в соответствии с Федеральным законом от 06.12.2021 № 390-ФЗ) государственным заказчиком-координатором был проведен анализ дальнейшего хода реализации Программы при сохранении доведенных объемов бюджетного финансирования, кото-

рый показал образовавшийся дефицит и необходимость продления срока реализации Программы до 2035 года для достижения в новых условиях установленных целевых показателей и индикатора в полном объеме.

В 2022 году была проведена масштабная работа государственных заказчиков по внесению изменений в Программу (переоценка стоимости и уточнение сроков проведения работ и некоторых конечных результатов). Увеличение срока реализации ФЦП ЯРБ-2 даже при столь крупном сокращении работ второго этапа позволило обеспечить относительно равномерное финансирование Программы, ликвидируя последствия предшествующих корректировок, сводившихся к переносу финансирования на более поздние сроки (рисунок 6). Подобная динамика финансирования может быть охарактеризована как стабильная и не несущая рисков для обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

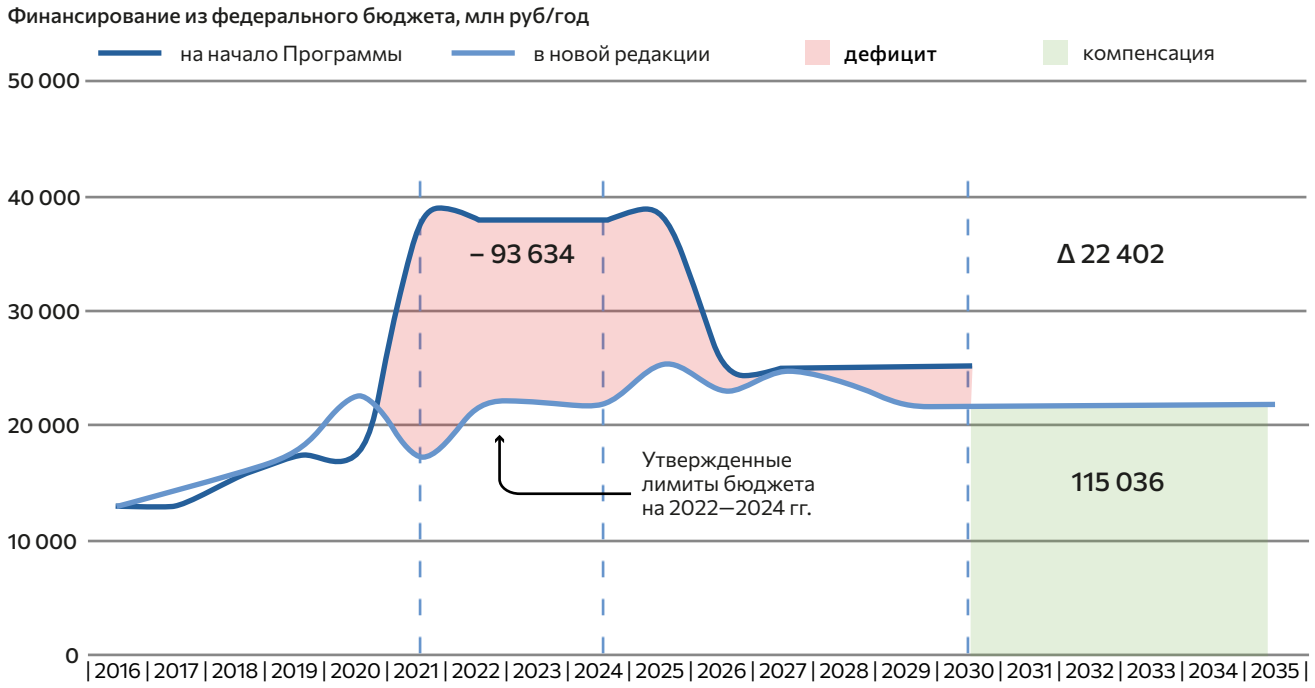


Рисунок 6 **Продление срока реализации Программы до 2035 года (2022 год)**

Помимо продления срока реализации выполняется ежегодная корректировка Программы, обусловленная необходимостью концентрации финансовых и организационных ресурсов на решении ключевых задач (рисунки 7 и 8). Оптимизация распределения финансирования по ключевым мероприятиям Программы позволяет обеспечить и улучшить динамику достижения целевых показателей и индикатора. Также Программа корректируется в связи с необходимостью ее приведения в соответствие федеральным законам о федеральном бюджете, определяющим лимиты бюджетного финансирования на соответствующий период.

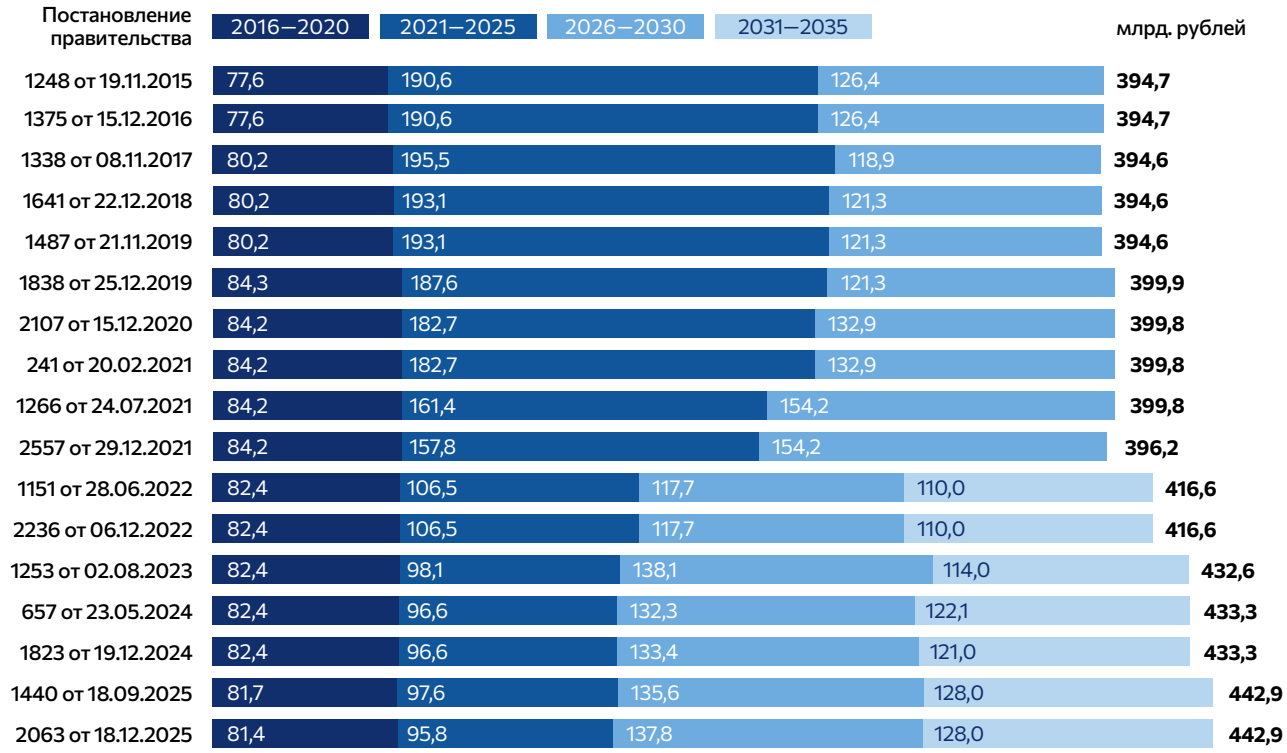


Рисунок 7 **Изменения финансирования из федерального бюджета ФЦП ЯРБ-2 по этапам реализации, млрд рублей**

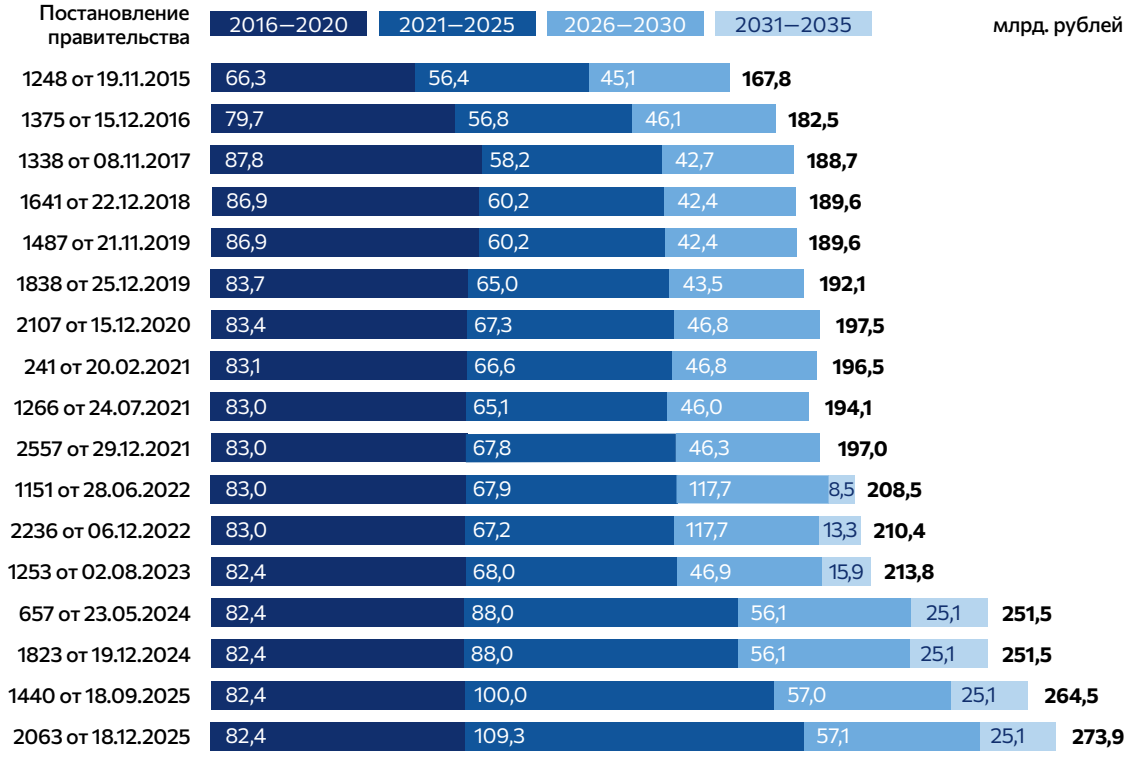


Рисунок 8 **Изменения финансирования из внебюджетных источников ФЦП ЯРБ-2 по этапам реализации, млрд рублей**

За период реализации второго этапа Программы управленческие решения были предприняты в отношении 110 из 132 первоначально запланированных мероприятий, в том числе были уточнены (увеличены) плановые значения целевых показателей Программы (рисунок 9).

Целевые показатели	До	После
Ввод в эксплуатацию пунктов захоронения РАО тыс. м^3	367	407
Количество переработанного ОЯТ тыс. тонн	2,5	2,8
Вывод из эксплуатации и ликвидация ядерно и радиационно опасных объектов единиц	76	85
Объем приведенных к критериям приемлемости и переданных на захоронение РАО тыс. м^3	155	157

Рисунок 9 **Уточненные плановые значения целевых показателей Программы на 2035 год**

Государственный заказчик-координатор в зоне своей компетенции рассматривает предложения региональных властей о включении дополнительных мероприятий в Программу для решения глобальных государственных задач, а также задач, направленных на ликвидацию и реабилитацию «бесхозяйных» объектов ядерного наследия. Так, с 2023 года, в состав Программы добавлено мероприятие по реабилитации территории радиохимического комплекса бывшего ФГУП «РНЦ «Прикладная химия» в Ленинградской области.

Мониторинг реализации Программы

Значимость задач, решаемых по различным направлениям Программы, масштабность и уникальность выполняемых работ, неопределенности, связанные с состоянием объектов ядерного наследия, наличие шести государственных заказчиков Программы предопределили необходимость постоянного мониторинга по широкому кругу параметров.

Мониторинг Программы охватывает все стадии реализации мероприятий, начиная с планирования работ и проведения конкурсных процедур по определению исполнителей работ, заключения, выполнения и финансирования государственных контрактов (договоров), сдачу-приемку работ, и заканчивая анализом отчетности организаций-исполнителей и государственных заказчиков Программы на предмет успешности продвижения к конечной цели Программы, характеризуемой значениями целевого индикатора и целевых показателей Программы.

Одной из важных задач мониторинга является подготовка для заинтересованных федеральных органов исполнительной власти докладов и регламентированных отчетных материалов о ходе выполнения работ и эффективности использования финансовых средств, формирование статистической отчетности и подготовка предложений для принятия своевременных и обоснованных управленческих решений по изменению Программы.

Основными процессами мониторинга реализации и управления Программой являются:

- сбор, анализ и систематизация первичной документации, отчетных материалов и иных данных по программным мероприятиям, государственным контрактам и договорам;
- подготовка сводных и детализированных данных о ходе реализации Программы для формирования различной отчетности;
- оценка и прогноз достижения целевых показателей Программы и степени достижения основной цели Программы;
- анализ хода выполнения мероприятий Программы, включая степень исполнения контрактных и договорных обязательств;
- подготовка обоснований бюджетных ассигнований в целях формирования проекта федерального закона о федеральном бюджете на очередной финансовый год и на плановый период и проектов внесения изменений в Программу;
- подготовка аналитических и презентационных материалов о ходе работ по обеспечению ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации.

Мониторинг реализации Программы осуществляется с 2016 года в рамках специального мероприятия. За прошедший период были значительно усовершенствованы процессы и инструменты планирования и контроля за ходом выполнения программных мероприятий, а также подходы к оценке и повышению эффективности их реализации, включая внедрение перспективных цифровых и технологических решений. Это позволяет своевременно выявлять проблемы, заблаговременно оценивать возможные риски и отклонения от планов и осуществлять эффективное управление Программой.

Если на первом этапе реализации Программы в рамках мониторинга проанализировано и систематизировано более шести тысяч документов и более тысячи научно-технических и аналитических отчетов о результатах выполнения мероприятий, сформировано более шестидесяти комплектов регламентированных отчетных материалов о ходе реализации Программы, а также на их основе подготовлено более тысячи справочных, аналитических и информационных материалов, то на втором этапе реализации Программы объем обрабатываемой информации вырос на 30 %. Данная работа направлена на повышение обоснованности, качества и оперативности принятия управленческих решений на всех уровнях управления, включая уровень Правительства Российской Федерации.

Повышение эффективности

Для повышения эффективности организации и управления программными мероприятиями и Программой созданы и развиваются центры ответственности и компетенций, к которым относятся:

- Единая государственная система по обращению с радиоактивными отходами, обеспечивающая безопасное и эффективное управление радиоактивными отходами, включая их захоронение;
- ФГУП «НО РАО» – единственная организация, уполномоченная вести деятельность по окончательной изоляции радиоактивных отходов, а также другие связанные с этим функции;

- ФГУП «РАДОН» – технологический лидер в сфере обращения с радиоактивными отходами и отраслевой оператор по обращению с объектами ядерного наследия в России;
- АО «ОДЦ УГР» – предприятие, специализирующиеся на выполнении практических работ серийного вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии;
- ОДИЦ – Опытно-демонстрационные инженерные центры по выводу из эксплуатации, созданные Концерном «Росэнергоатом» в целях безопасного и эффективного вывода из эксплуатации остановленных энергоблоков АЭС разных типов;
- специальные центры создания и развития технологий.

Созданные центры ответственности и компетенций способствуют решению задачи повышения экономической и экологической эффективности завершающих стадий жизненного цикла объектов использования атомной энергии, в том числе для трансфера технологий на зарубежные рынки.

В целом, управление Программой и мониторинг ее реализации обеспечивают своевременное реагирование на изменение внешних и внутренних факторов и эффективное достижение поставленной цели.

2. ОБЩИЕ ИТОГИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ЗА 2021–2025 ГОДЫ

2 ОБЩИЕ ИТОГИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ЗА 2021–2025 ГОДЫ

В результате реализации второго этапа Программы достигнуты все запланированные на конец 2025 года целевые показатели, а результирующий индикатор «Степень достижения основной цели Программы» выполнен на 44,2 % при плановом значении 43,8 %. Доля решения накопленных проблем ядерного наследия составила 27,9 %. Реализация программных мероприятий способствовала повышению радиационной и экологической безопасности в 31 регионе России

На втором этапе реализации Программы продолжены работы по строительству (реконструкции) объектов инфраструктуры по обращению с ОЯТ и РАО (введены в эксплуатацию 12 объектов), решению проблем, связанных с прошлой деятельностью и научно-исследовательские работы и работы, позволяющие предложить наиболее эффективные методы и технологии по обращению с РАО и выводу из эксплуатации объектов.

2.1 Параметры реализации Программы

Целевые показатели и индикатор Программы

Результаты реализации Программы характеризуются через достижение запланированных значений целевых показателей и расчетного индикатора «Степень достижения основной цели Программы».

По итогам каждого года второго этапа Программы целевой индикатор и все целевые показатели были выполнены или перевыполнены (рисунок 10). Такой результат достигнут за счет своевременного выполнения работ в рамках программных мероприятий, эффективного управления Программой, а также использования механизмов оптимизации и перераспределения финансовых, технологических, трудовых и временных ресурсов.

Доля решения накопленных проблем ядерного наследия

Для количественной оценки результатов решения проблем ликвидации ядерного наследия проводится расчет сводного индикатора «Доля накопленных ядерных материалов, радиоактивных веществ и отходов, переведенных в экологически безопасное состояние», соответствующего положениям Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации до 2025 года и дальнейшую перспективу [2]. Индикатор является расчетной величиной, агрегирующей показатели результативности в рамках каждого направления работ по ликвидации ядерного наследия с учетом весовых коэффициентов, которые учитывают уровень опасности объектов, а также сложность и стоимость применяемых

технологий. Методика оценки этого индикатора рассмотрена и одобрена на Научно-техническом совете № 10 Госкорпорации «Росатом» (Москва, 2018 г.), утверждена приказом Госкорпорации «Росатом» от 24.04.2020 № 1/424-П и применяется с 2021 года для ежегодной оценки результативности Государственной программы «Развитие атомного энергопромышленного комплекса». При расчете используются целевые показатели Программы, а также показатели поддержания в безопасном состоянии накопленных федеральных РАО и ЯРОО наследия.

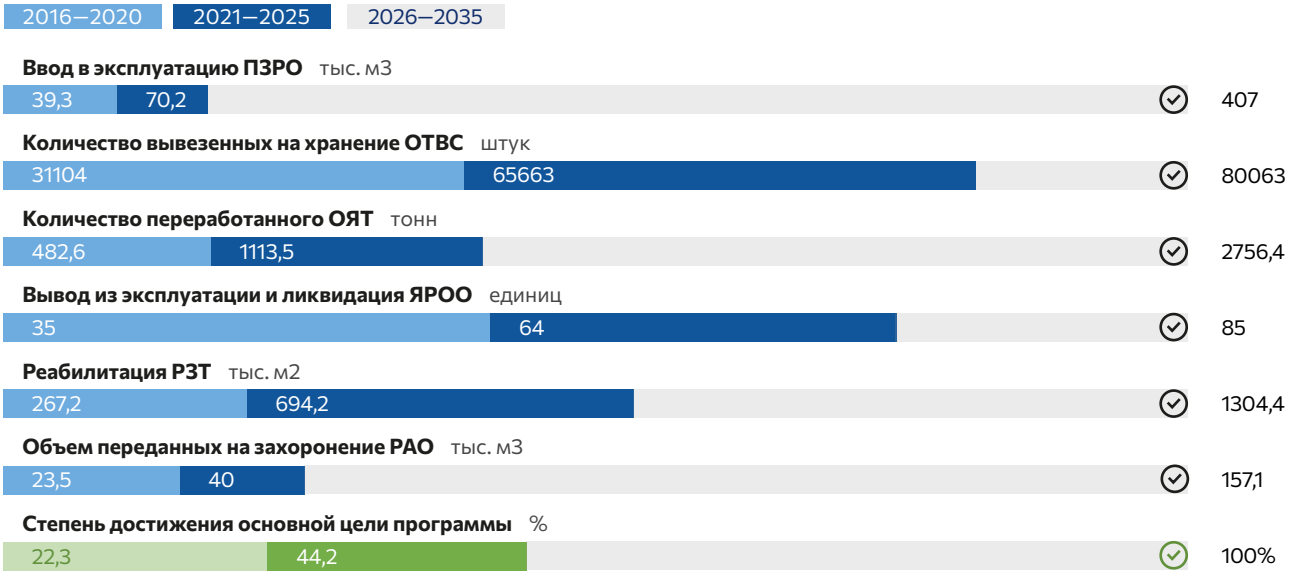


Рисунок 10 **Достижение целевых показателей Программы**

По итогам 2025 года доля решения накопленных проблем ядерного наследия составила 27,9 %. К концу 2035 года данный показатель прогнозируется на уровне 45 % (рисунок 11).

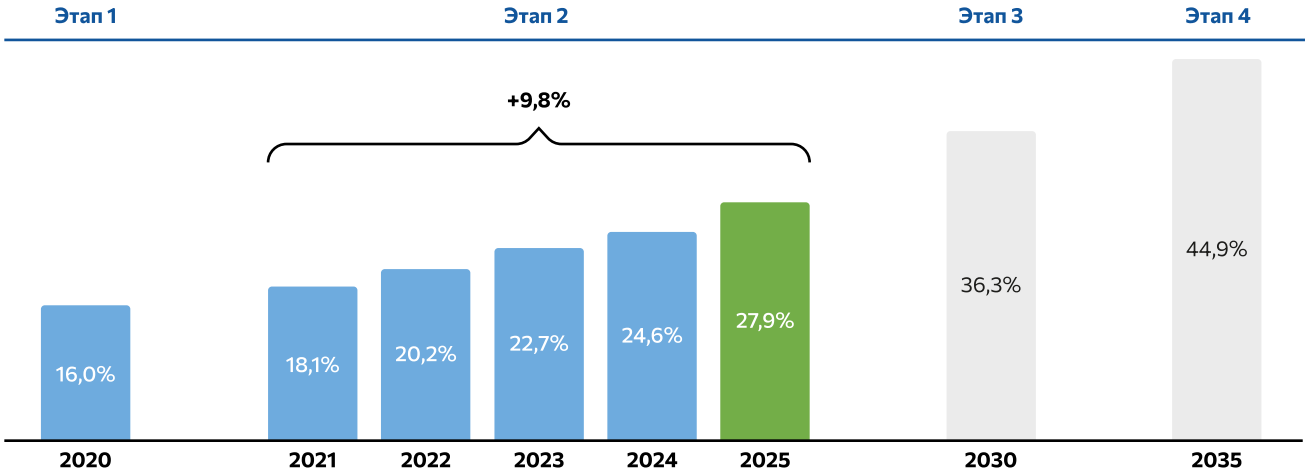


Рисунок 11 **Результаты оценки показателя «Доля решения накопленных проблем ядерного наследия»**

Показатели эффективности и результативности Программы

Оценка эффективности производится ежегодно в соответствии с утвержденной Правительством Российской Федерации Методикой оценки эффективности реализации Программы [8]. Результаты этой оценки представляются в составе годового отчета государственного заказчика-координатора о ходе выполнения Программы. В качестве параметров оценки эффективности выступают характеристики планируемых к завершению в отчетном году мероприятий (степень соблюдения сроков реализации, использования выделенных объемов финансирования, полученных результатов) и оценка достижения целевых показателей Программы за отчетный год.

При оценке результативности реализации Программы проводится анализ результатов работ по повышению уровня ядерной и радиационной безопасности с целью выявления динамики изменения радиационных рисков.

Механизм оценки результативности Программы основывается на данных об изменении значений комплексного показателя потенциальной опасности ЯРОО, который был разработан для оценки эффективности работ в рамках мероприятий ФЦП ЯРБ, а также применялся при ранжировании и формировании перечня приоритетных объектов для включения в ФЦП ЯРБ-2. Комплексный показатель потенциальной опасности рассчитывается путем покомпонентного учета данных о факторах радиологической опасности (активность радиоактивных материалов и веществ, способность к распространению в окружающей среде, частота контроля) и технической надежности барьеров безопасности, влияющих на потенциальную опасность объекта.

Показатель результативности Программы определяется на основе сравнения плановых и фактических значений комплексного показателя потенциальной опасности объектов. В соответствии с Методикой оценки эффективности и результативности реализации государственных программ Российской Федерации показатель признается высоким, если результат оценки эффективности реализации Программы больше 0,95, или средним, если оценка находится в интервале 0,85—0,95.

Динамика результатов значений показателей эффективности и результативности Программы на втором этапе ее реализации представлена на рисунке 12.

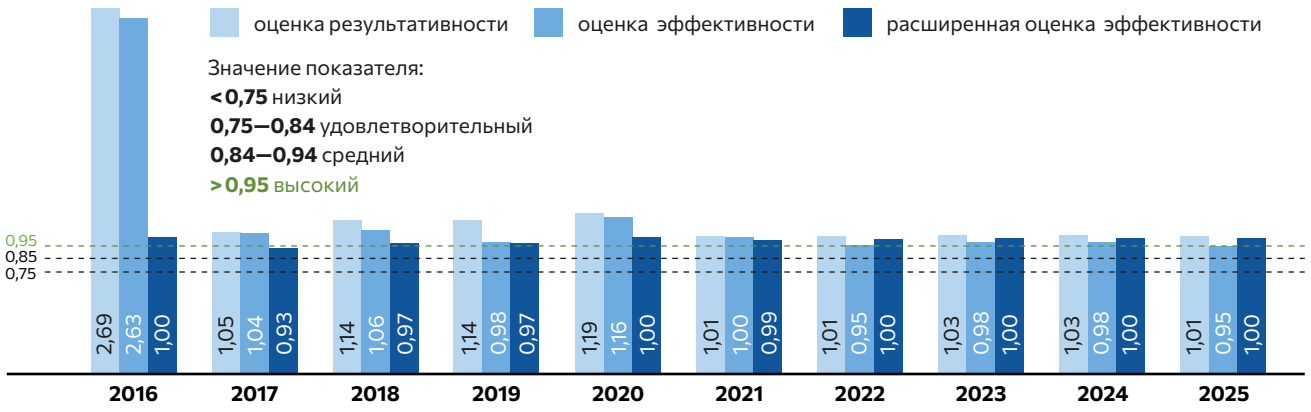


Рисунок 12 **Результаты оценки эффективности и результативности реализации Программы**

Прогноз состояния ядерной и радиационной безопасности в РФ на долгосрочный период

Понятие «состояние ядерной и радиационной безопасности» формализовано утвержденными Президентом Российской Федерации Основами государственной политики в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности в Российской Федерации [2]. Основные рамки рассмотрения этого вопроса включают в себя:

- безопасность эксплуатации объектов использования атомной энергии, при этом особое внимание уделено объектам ядерного наследия;
- развитие систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования;
- защита работников (персонала) организаций, населения и окружающей среды от радиационного воздействия;
- развитие научно-технической поддержки в области ЯРБ;
- развитие нормативно-правовой базы.

В 2024 году был разработан прогноз состояния ЯРБ на долгосрочный период, оценивающий срок окончательного решения проблем ядерного наследия за рамками текущего века, или, в оптимистичном варианте, к периоду 2080-х годов.

Прогноз предполагает необходимость значимых темпов роста финансирования работ по ликвидации ядерного наследия и сохранение финансирования программ развития, в том числе создания новых объектов атомной энергетики и ядерного топливного цикла, что обеспечит полноценное функционирование, развитие и создание новых эксплуатирующих организаций, а также развитие инфраструктуры обеспечения радиационной безопасности населения и окружающей среды.

В этом случае высока вероятность того, что эксплуатирующие организации смогут обеспечить безопасность действующих производств, в том числе радиационную безопасность населения и окружающей среды на приемлемом уровне на всем горизонте прогнозирования при условии отсутствия маловероятных катастрофических событий природного и техногенного характера.

Успешная реализация такого сценария возможна при закреплении финансовой ответственности Российской Федерации за вывод из эксплуатации объектов ядерного наследия, а также совершенствования нормативной базы по вопросам вывода из эксплуатации, обращения с ОЯТ, РАО и обеспечения ЯРБ.

2.2 Обзор основных итогов практических и научно-исследовательских работ в рамках реализации второго этапа Программы

Далее представлен краткий обзор основных итогов второго этапа ФЦП ЯРБ-2 в разрезе базовых направлений, подробное описание этих результатов представлено в соответствующих разделах 3–9 настоящего отчета.

Обращение с ОЯТ

В 2024 году завершено строительство второго пускового комплекса опытно-демонстрационного центра (ОДЦ) по переработке ОЯТ на ФГУП «ГХК». Создание ОДЦ — это шаг к формированию современного радиохимического завода по переработке ОЯТ 3-го поколения. Благодаря новейшим разработкам в данной области планируется полностью исключить образование жидких РАО и на порядки сократить количество образующихся твердых РАО.

На «сухое» хранение на ФГУП «ГХК» размещено 34,5 тысяч отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) реакторов типа РБМК-1000, вывезенных с Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС. Суммарно за два этапа реализации Программы количество размещенных ОТВС достигло 65,6 тысяч штук, что составило около 60 % накопленного на начало 2016 года федерального ОЯТ.

Выполнена подготовка к вывозу, транспортировка и переработка на ФГУП «ПО «Маяк» ОЯТ реакторов типа ВВЭР-440, БН-600, БН-800, РБМК-1000 (некондиционное), ВВЭР-1000; исследовательских реакторов: АО «ГНЦ РФ — ФЭИ», АО «ГНЦ НИИАР», АО «НИФХИ им. Л. Я. Карпова», АО «ИРМ», АО «НИИП»; ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», Национальный исследовательский Томский политехнический университет; облученных блоков промышленных уран-графитовых реакторов, а также ОЯТ ядерных энергетических установок атомного флота общим объемом 630,9 тонн тяжелого металла. Суммарно за два этапа реализации Программы масса переработанного ОЯТ составила 1113,5 тонн тяжелого металла.

Описание выполненных работ по созданию инфраструктуры и обращению с ОЯТ представлено в разделе 3.

Обращение с РАО

Мероприятия ФЦП ЯРБ-2, направленные на обеспечение проектирования и строительства ПГЗРО в составе ПИЛ для РАО классов 1 и 2 выполняются в соответствии с плановыми сроками. Основные промежуточные итоги на конец 2025 года включают:

- основные технические решения и рекомендации, которые при должном уровне интенсификации практических работ на площадке строительства позволят достичь ожидаемых результатов от 1-й очереди строительства ПГЗРО;
- проект технического задания на выделение Стартового комплекса ПИЛ, предназначенного для сбора в ходе строительства и эксплуатации комплекса подземных сооружений приоритетных данных, необходимых для принятия решения о последующем развитии проекта;
- развернуты исследования, необходимые для обоснования долговременной безопасности ПГЗРО. Обеспечена интеграция данных исследований в единую информационно-аналитическую базу данных.
- Безопасное обращение с накопленными и образующимися РАО и создание инфраструктуры хранения и захоронения РАО являются важнейшими направлениями ФЦП ЯРБ-2. В рамках данного направления в 2025 году завершено строительство первых модулей пунктов финальной изоляции РАО в городах Северск (Томская область) и Озерск (Челябинская область) суммарным проектным объемом 30,9 тысяч м^3. На рисунке 13 представлена география и проектные мощности вводимых в эксплуатацию до 2035 года пунктов финальной изоляции РАО.



Рисунок 13 **Создание пунктов финальной изоляции РАО до 2035 года**

На ФГУП «ПО «Маяк» введена в эксплуатацию электропечь ЭП-250/6, предназначенная для остекловывания высокоактивных отходов (ВАО), ведется строительство хранилища ВАО.

За период 2021–2025 годов объем РАО, приведенных к критериям приемлемости и переданных на захоронение, составил 16,5 тысяч м^3. В эти объемы вошли отходы с атомных электростанций, ФГУП «РАДОН», ФГУП «Атомфлот», АО «Экомет-С», АО «ВНИИНМ», АО «АЭХК», АО «УЭХК», ФГУП «РФЯЦ — ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина» и др. Суммарно за два этапа реализации Программы объем РАО, переданных на захоронение, составил 40 тысяч м^3.

Кроме того, продолжаются работы по консервации особых РАО на территории АО «СХК». На комбинате в 2020 году были законсервированы два открытых бассейна-хранилища РАО — Б-1 и Б-25, в активной фазе — консервация двух пульпохранилищ — ПХ-1 и ПХ-2.

Описание создаваемых мощностей финальной изоляции РАО, создания инфраструктуры по переработке и работы по обращению с РАО представлены в разделе 4.

Вывод из эксплуатации ЯРОО и реабилитация радиационно загрязненных территорий и объектов

С 2021 года выведено из эксплуатации 29 ядерно и радиационно опасных объектов (таблица 1), и еще на 28 объектах такие работы продолжаются.

Одним из длительных и сложных проектов, завершенных в 2023 году, стал вывод из эксплуатации (по варианту «захоронение на месте») двух промышленных уран-графитовых реакторов (ПУГР) на ФГУП «ГХК» — АД и АДЭ-1.

Это одноцелевые проточные реакторы, которые во второй половине прошлого века предназначались для наработки оружейного плутония. Завершенная локализация радиоактивно загрязненных элементов оборудования, систем и конструкций реактора обеспечивает радиационную безопасность персонала, населения и окружающей среды на период не менее 10 тысяч лет. Всего в рамках ФЦП ЯРБ-2 к 2035 году планируется вывести из эксплуатации семь промышленных реакторов.

В 2022 году в рамках Программы впервые был утилизирован атомный ледокол — «Сибирь», который был выведен из эксплуатации еще в 2008 году. Произведен комплекс работ по демонтажу и выгрузке оборудования и реакторов с последующим их размещением в герметичную блок-упаковку и транспортировке ее в пункт долговременного хранения радиоактивных отходов «Сайда» в губе Сайда Мурманской области.

В двух густонаселенных районах Москвы завершены проекты вывода из эксплуатации:

- на территории АО «ВНИИНМ» ликвидированы 3 объекта – установка У-5, корпус Ж и радиационно загрязненный участок № 9;
- на промышленной площадке бывшего АО «ВНИИХТ» (Московский филиал ФГУП «РАДОН») ликвидировано здание № 8 радиохимического производства.

Таблица 1 Объекты, выведенные из эксплуатации в период 2021–2025 годов

Организация	Кол-во	Перечень объектов
ФГУП «ГХК»	2	**ПУГР АД** **ПУГР АДЭ-1**
АО «ОДЦ УГР»	2	**Здание 453а (газгольдер)** **Здание 171 (газгольдер)**
АО «ВНИИНМ»	3	**Установка У-5** **Корпус Ж** **УРЗ № 9**
Московский филиал ФГУП «РАДОН»	1	**Корпус 8**
АО «НИИП»	2	**Здание 60А** **Здание 116А**
АО «АЭХК»	1	**Здание 802**
ФГУП «Атомфлот»	1	**Атомный ледокол «Сибирь»**
ФГУП «ПО «Маяк»	12	**Здания: 4аС, 102А, 102С, 120/1, 120/6, 121, 131(134), 145, 172, 173, 199, 401Е**
бывш. ФГУП «РНЦ «Прикладная химия»	5	**Корпуса: 303А, 304-305, 314, 315** **Эстакада**

Информация об объектах, выведенных из эксплуатации, представлена в разделе 5.

Реабилитация радиационно загрязненных территорий

За период 2021–2025 годов реабилитировано 427 тысяч м^2 радиационно загрязненных территорий, 694,2 тысяч м^2 суммарно с начала реализации Программы. Работы завершены на участках радиационно загрязненных территорий ФГУП «ПО «Маяк» в Челябинской области и 2-й режимной территории ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России в Московской области, а также на территориях выведенных из эксплуатации объектов.

Сведения о реабилитированных территориях представлены в разделе 6.

Обеспечение безопасности отдельных объектов, содержащих радиоактивные отходы, радиоактивные вещества и ядерные материалы

Обеспечено поддержание в безопасном состоянии Теченского каскада водоемов, гидротехнических сооружений и законсервированного водоема № 9 (оз. Карачай) на ФГУП «ПО «Маяк», государственного радиевого фонда России на ФГУП «ГХК», радиохимического и химико-металлургического заводов АО «СХК» и производственных площадок № 2 и № 11 АО «ОДЦ УГР».

Развитие систем контроля и обеспечения ядерной и радиационной безопасности и повышение защищенности работников (персонала) объектов использования атомной энергии, населения и окружающей среды от радиационного воздействия

В настоящее время автоматизированные системы контроля радиационной обстановки и иные системы мониторинга охватывают 100 % территорий расположения ядерно и радиационно опасных объектов и в круглосуточном автоматизированном режиме обеспечивают мониторинг радиационной обстановки.

Ежегодно проводится оценка долговременных последствий химического и радиоактивного загрязнения компонентов окружающей среды в границах зон возможного влияния объектов ядерного наследия на предприятиях Госкорпорации «Росатом».

Совершенствуются технологии внутренней и внешней дозиметрии облучения человека и создаются системы мониторинга доз общего облучения персонала радиационно опасных производств.

Достигнутым результатам по развитию систем обеспечения ядерной и радиационной безопасности работников, населения и окружающей среды посвящен раздел 8.

3. РЕШЕНИЕ НАКОПЛЕННЫХ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ

3 РЕШЕНИЕ НАКОПЛЕННЫХ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ

По итогам второго этапа Программы:

- **завершено создание второго пускового комплекса опытно-демонстрационного центра по переработке ОЯТ на ФГУП «ГХК»**
- **активно ведется строительство комплекса по обращению с ОЯТ АМБ на ФГУП «ПО «Маяк»**
- **на Смоленской АЭС завершено строительство «Пристроя» к зданию хранилища ОЯТ, предназначенного для подготовки ОЯТ к отправке на «сухое» хранение**
- **размещено на «сухое» хранение на ФГУП «ГХК» 60 % ОЯТ реакторов типа РБМК-1000 с Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС, накопленного на начало 2016 года**
- **переработано на ФГУП «ПО «Маяк» ОЯТ различных типов реакторов общей массой 630,9 тонн**

В основу государственной политики Российской Федерации в области обращения с ОЯТ положен принцип переработки ОЯТ для возврата в ядерный топливный цикл регенерированных ядерных материалов и обеспечения экологически приемлемого обращения с продуктами деления.

Приоритетом в данной области является обеспечение на всех стадиях обращения с ОЯТ всех видов безопасности, физической защиты и сохранности делящихся материалов, а также невозложение чрезмерного бремени на будущие поколения.

Ключевым направлением долгосрочной стратегии развития атомной энергетики становится переход к двухкомпонентной структуре атомной энергетики на базе тепловых и быстрых реакторов с замыканием ядерного топливного цикла, предполагающим переработку ОЯТ с вовлечением регенерированных ядерных материалов в производство ядерного топлива, и дожиганием долгоживущих высокоактивных элементов, что решает вопрос ограниченности ресурсной базы природного урана и минимизации глубинного захоронения РАО.

Обращение с ОЯТ представляет собой ряд технологических операций, которые начинаются с выгрузки ОТВС из реактора и помещения их в приреакторный бассейн выдержки. Там они выдерживаются в течение трех-пяти лет для снижения радиоактивности и тепловыделения. Затем ОЯТ перемещается в станционные хранилища или направляется на переработку.

Радиационные характеристики ОЯТ накладывают жесткие требования к безопасности на всех этапах обращения с ним, включая хранение, транспортировку и переработку. Операции по обращению с каждым типом ОЯТ производятся в соответствии со своими технологическими схемами с ориентацией на две промышленные площадки: ФГУП «ГХК» и ФГУП «ПО «Маяк» (рисунок 14).

Мероприятия Программы предусматривают создание новых мощностей по транспортировке, хранению и переработке ОЯТ, а также обеспечение его перевозки на централизованное хранение или переработку.

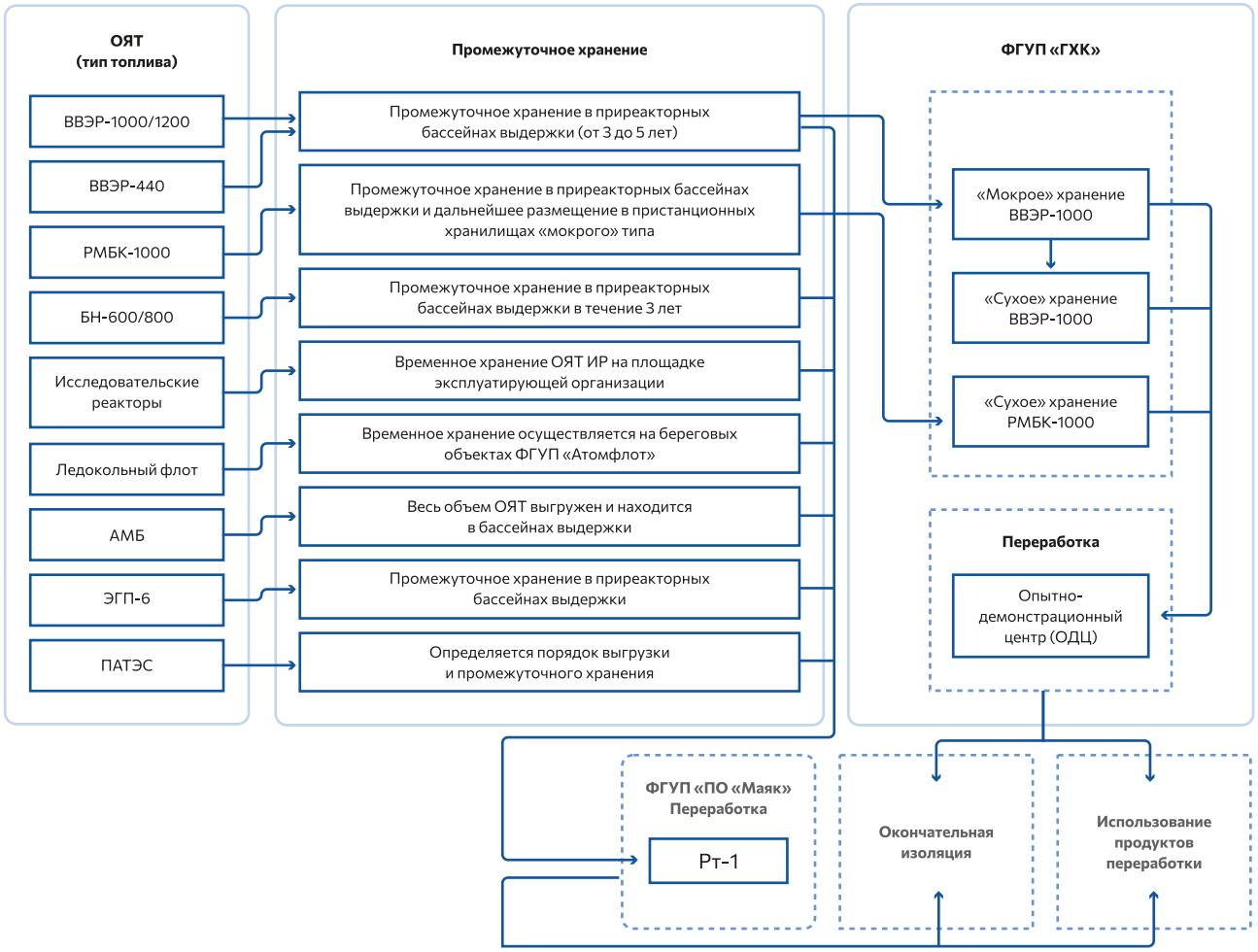


Рисунок 14 **Практика обращения с ОЯТ в Российской Федерации**

В настоящее время ответственность между государством и юридическими лицами за обращение с накопленным ОЯТ разграничена по форме собственности в процессе акционирования. Мероприятия в рамках данного направления финансируются как из средств федерального бюджета, так и внебюджетных источников.

3.1 Создание новых мощностей по транспортировке, хранению и переработке ОЯТ

Работы велись на ФГУП «ГХК», ФГУП «ПО «Маяк» и атомных электростанциях.

3.1.1 Создание опытно-демонстрационного центра по переработке ОЯТ на ФГУП «ГХК»

Горно-химический комбинат — федеральное государственное унитарное предприятие, входящее в дивизион «Экологические решения» Госкорпорации «Росатом», является одним из ключевых участников создания технологического комплекса замкнутого

ядерного топливного цикла (ЯТЦ) на основе технологий нового поколения. Главной целью замыкания ЯТЦ является максимальное использование энергетического потенциала ядерного топлива за счет повторного использования ядерных материалов.

ОДЦ на ФГУП «ГХК» реализуется как часть единого комплекса централизованного обращения с ОЯТ (рисунок 15), включающего хранение и переработку ОЯТ, фабрикацию уран-плутониевого топлива и подземную исследовательскую лабораторию. Технологии переработки, отрабатываемые на ОДЦ, ориентированы на высокий уровень радиационной и экологической безопасности.



Рисунок 15 **ОДЦ в составе единого технологического комплекса централизованного обращения**

Основные объекты этого комплекса были созданы в рамках ФЦП ЯРБ:

- «сухое» хранилище ХОТ-2 для долговременного хранения ОЯТ РБМК-1000 и ВВЭР-1000;
- реконструированное «мокрое» хранилище ОЯТ с увеличенной проектной мощностью (вместимостью);
- первый пусковой комплекс ОДЦ.

Строительство ОДЦ началось в 2010 году. Спустя пять лет был введен в эксплуатацию первый пусковой комплекс — исследовательский, представляющий собой цепочку горячих камер с аналитической лабораторией, где инновационные технологии обращения с ОЯТ и РАО отрабатывались на лабораторных стендовых установках.

В 2025 году введен в эксплуатацию второй пусковой комплекс — опытно-промышленный (рисунок 16). Здесь будут перерабатывать ОЯТ из мокрого хранилища, тестировать оборудование и технологии для проектирования завода большой производительности (рисунок 17). Выход на максимальную проектную мощность в 220 тонн ОЯТ/год планируется к 2029 году.



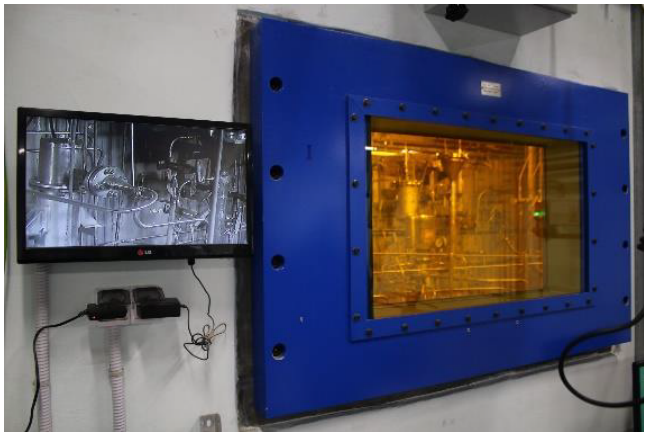


Рисунок 16 **ОДЦ ФГУП «ГХК»**

Создание ОДЦ — это шаг к формированию современного радиохимического завода по переработке ОЯТ большой производительности. Благодаря новейшим разработкам в данной области планируется полностью исключить образование жидких РАО и на порядки сократить количество образующихся твердых РАО.

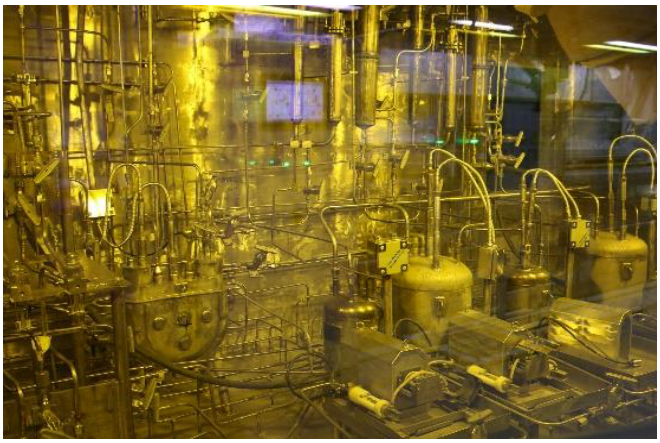




Рисунок 17 **Установки ОДЦ**

3.1.2 Создание комплекса по обращению с ОЯТ АМБ на ФГУП «ПО «Маяк»

Энергоблоки с водографитовыми канальными реакторами АМБ-100 и АМБ-200 эксплуатировались на Белоярской АЭС до конца 80-х годов. Накопленные в хранилищах Белоярской АЭС и ФГУП «ПО «Маяк» более 7 тысяч ОТВС этих реакторов являются одной из самых сложных составляющих ядерного наследия. Основные проблемы связаны с состоянием бассейнов-хранилищ, ОТВС и кассет из углеродистых сталей. Для данного вида ОТВС характерно различие топливных композиций, большие габаритные размеры — 13 метров, а также сложная конфигурация самих тепловыделяющих элементов.

Начальные стадии работ были выполнены в рамках ФЦП ЯРБ. На заводе проводились испытания, в ходе которых отрабатывалась разгрузка вагонов-контейнеров, но вместо кассеты с реальным топливом АМБ в транспортно-упаковочном комплекте находился имитатор без ядерных материалов. В ходе испытаний весь процесс по подготовке вагона к разгрузке и непосредственно сама разгрузка отрабатывались до мельчайших деталей.

В 2016 году была осуществлена поставка, извлечение и установка на место хранения опытной партии ОТВС с целью удостовериться, что Белоярская АЭС и ФГУП «ПО «Маяк» полностью готовы к вывозу данного вида ОЯТ на переработку. Вывоз кассеты с ОЯТ АМБ с Белоярской АЭС стал завершающим этапом большой работы по созданию транспортно-технологической схемы вывоза, включающей комплекс технических и организационных работ на ПО «Маяк» и Белоярской АЭС, а также созданию железнодорожного эшелона с уникальными транспортно-упаковочными комплектами ТУК-84 для перевозки ОЯТ АМБ (рисунок 18). Благодаря этому, в дальнейшем (2017–2019 годы) с площадки Белоярской АЭС были вывезены и размещены на хранение на ФГУП «ПО «Маяк» 124 кассеты с ОТВС АМБ, что существенным образом повысило безопасность эксплуатации бассейнов выдержки атомной станции.





Рисунок 18 **Прием и извлечение ОТВС реакторов АМБ**

В рамках второго этапа ФЦП ЯРБ-2 выполнены строительно-монтажные работы, создается инфраструктура для подготовки ОТВС к радиохимической переработке (рисунок 19). До конца 2030 года планируется завершить строительство комплекса, провести пуско-наладку технологического оборудования и завершить опытную эксплуатацию, включая разделку ОТВС АМБ, растворение топлива, выделение урана и плутония и кондиционирование РАО. Планируемая мощность комплекса по обращению с ОЯТ реакторов АМБ составит до 40,7 тонн ОЯТ в год.

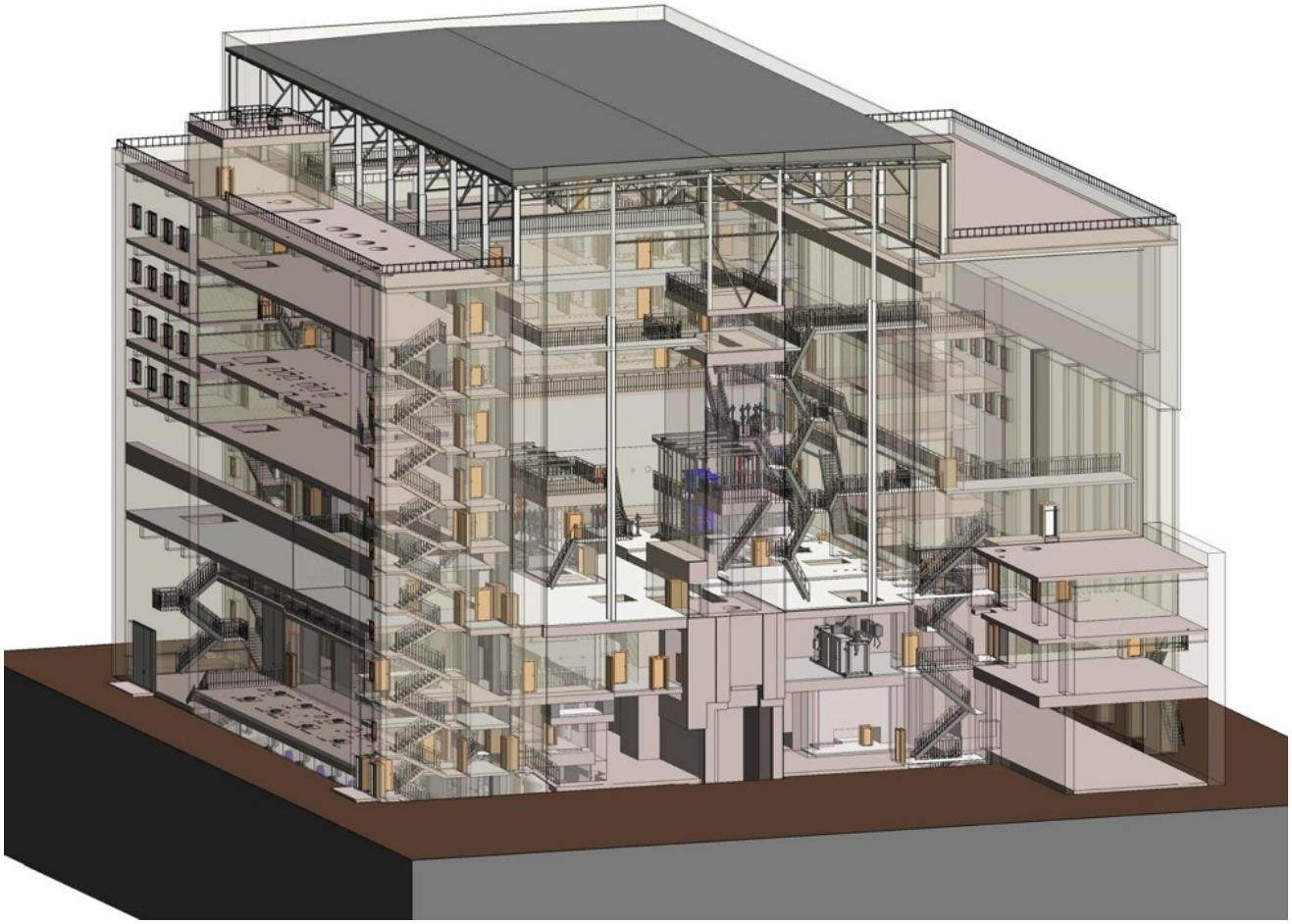


Рисунок 19 **Структура комплекса по переработке ОЯТ реакторов АМБ**

Завершение сооружения современного комплекса по обращению с ОЯТ АМБ на ФГУП «ПО «Маяк» обеспечит достижение одной из ключевых целей комбината – переработки всей номенклатуры ОЯТ энергетических реакторов, включая длинномерные ОТВС.

3.1.3 Строительство объектов обращения с ОЯТ на АЭС

На Смоленской АЭС завершено строительство объекта «Пристрой» к уже существующему зданию хранилища ОЯТ (рисунок 20). Это уникальное высокотехнологичное производство, где проводятся операции по разделке топлива, загрузке в металло-бетонные контейнеры и вывоз на «сухое» хранение. Объект имеет единое объемно-планировочное решение с существующим зданием хранилища ОЯТ, что позволило увеличить общую производительность комплекса и обеспечить разделку и вывоз до 3600 ОТВС в год.



Рисунок 20 **«Пристрой» хранилища ОЯТ на Смоленской АЭС**

На Ленинградской АЭС продолжается строительство отделения приема и отправки транспортных упаковочных комплектов и помещения обращения с твердыми РАО.

3.2 Обеспечение централизованного хранения и переработки ОЯТ

3.2.1 Транспортирование ОЯТ на централизованное хранение на ФГУП «ГХК»

ФГУП «ГХК» занимается безопасным транспортированием и хранением ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 и РБМК-1000. Для этого на предприятии построен и введен в эксплуатацию ряд крупных объектов федерального значения.

В 1985 году введено в эксплуатацию «мокрое» (водо-охлаждаемое) хранилище, предназначенное для технологической выдержки под водой ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 перед будущей радиохимической переработкой.

В рамках реализации ФЦП ЯРБ в полном объеме было завершено строительство комплекса «сухих» (воздухо-охлаждаемых) хранилищ для ОЯТ РБМК-1000 и ВВЭР-1000 и увеличена проектная мощность «мокрого» хранилища ОЯТ.

Созданная на ФГУП «ГХК» инфраструктура решила проблему переполнения пристанционных хранилищ ОЯТ реакторов РБМК-1000, что позволило исключить угрозу внеплановой остановки порядка 50 % электрической мощности АЭС России — Ленинградской, Курской и Смоленской. С 2011 года топливо, накопленное в таких хранилищах, вывозится на централизованное «сухое» хранение или переработку.

Вывоз ОЯТ РБМК-1000 на «сухое» хранение включает его извлечение из реактора, временное хранение, затаривание в герметичные контейнеры и последующую доставку в хранилище.

Транспортировка осуществляется в транспортных упаковочных комплектах типа ТУК-109 вместимостью 144 ампулы с пучками твэлов. ТУК-109 укладывается на железнодорожный транспортер. Несколько таких транспортеров, составленных в эшелон, отправляются на ФГУП «ГХК» для размещения ОТВС на «сухое» хранение.



Рисунок 21 **Перегрузка ОЯТ РБМК-1000 в «сухом» хранилище**

После доставки ТУК-109 в хранилище ХОТ-2 из него дистанционно извлекают контейнер с ампулами и отправляют в специальную «горячую камеру» (рисунок 21). В ней ампулы с пучками твэлов извлекаются из контейнера и перегружаются в герметичные пеналы. Далее пеналы перемещаются в хранилище, где они устанавливаются в гнезда хранения и герметично завариваются. Охлаждение на этой стадии осуществляется за счет естественной воздушной конвекции. Такая технология «сухого» хранения обеспечивает безопасное хранение ОЯТ на срок не менее 100 лет.

Всего с 2016 года на «сухое» хранение размещено 65,6 тысяч ОТВС реакторов РБМК-1000. К концу ФЦП ЯРБ-2 запланировано к размещению на безопасное долговременное хранение около 77 % от всего накопленного в России ОЯТ данного типа.

Отработавшее топливо реакторов типа ВВЭР-1000 вывозится и размещается в «мокром» хранилище. Для ОТВС этого типа используется ТУК-13, вмещающий 12 сборок. Из-за повышенного тепловыделения (по сравнению ОЯТ РБМК-1000) прибывший на ФГУП «ГХК» ТУК отправляют в узел расхолаживания, где он подлежит охлаждению при помощи воды в течение 3–5 часов до оптимальной температуры в 30 °С. Далее ТУК помещается в бассейн глубиной 8 м для извлечения и перегрузки ОЯТ. Все дальнейшие работы осуществляются непосредственно под водой при помощи специализированного крана и оборудования (рисунок 22).



Рисунок 22 **Доставка и размещение ОЯТ ВВЭР-1000 в «мокром» хранилище**

«Сухое» хранение ОЯТ более эффективно, чем «мокрое». Отсутствуют расходы на водоснабжение, объект более устойчив к потере электропитания и т. д. Перегрузка ОЯТ ВВЭР-1000 из «мокрого» в «сухое» сегодня выполняется в промышленных масштабах.

Поддержание существующих и создание новых мощностей по обращению с ОЯТ позволяют ежегодно вывозить на централизованное долговременное хранение ОТВС с атомных электростанций и обеспечивать бесперебойную работу пристанционных хранилищ АЭС.

3.2.2 Транспортирование ОЯТ на переработку на ФГУП «ПО «Маяк»

В рамках Программы ежегодно выполняются работы по подготовке к отправке, транспортировке и переработке ОЯТ на заводе РТ-1 ФГУП «ПО «Маяк» топлива энергетических и промышленных ядерных установок, исследовательских реакторов и атомного флота.

ОЯТ атомных электростанций

На регулярной основе осуществляется вывоз и переработка ОЯТ реакторов типа ВВЭР-440, БН-600 и БН-800 с Кольской, Нововоронежской и Белоярской АЭС; ВВЭР-1000 с Ростовской и Балаковской АЭС; некондиционного ОЯТ — части ОТВС РБМК-1000, которые являются непригодными для «сухого» хранения (негерметичными, дефектными).

ОЯТ исследовательских реакторов

За много лет эксплуатации исследовательских реакторов и критических стендов было накоплено большое количество ОЯТ различных видов, многие из которых никогда не вывозились за пределы организаций. Длительные сроки хранения в условиях старения инфраструктуры создавали очевидные угрозы для безопасности. В рамках первого этапа Программы в первую очередь топливо вывозилось из таких крупных научных центров, как АО «ГНЦ РФ — ФЭИ» (г. Обнинск, Калужская область), АО «ГНЦ НИИАР» (г. Димитровград, Ульяновская область), НИЦ «Курчатовский институт» и НИЯУ МИФИ (г. Москва). В рамках второго этапа к ним добавились АО «НИФХИ им. Л. Я. Карпова» (г. Обнинск), АО «НИИП» (г. Лыткарино, Московская область), АО «ИРМ» (г. Заречный, Свердловская область), ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова» (г. Сосновый Бор, Ленинградская область), Национальный исследовательский Томский политехнический университет (г. Томск).

За период 2016–2024 гг. завершены проекты по вывозу ОЯТ ИР из НИЯУ МИФИ (2016 г.), АО «НИФХИ им. Л. Я. Карпова» (2021 г.), ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова» (2022 г.), АО «НИИП» (2022 г.), АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» (2024 г.). Продолжается вывоз ОЯТ с площадок АО «НИИАР», НИЦ «Курчатовский институт», Национальный исследовательский Томский политехнический университет и НИЯУ МИФИ.

Суммарно в рамках ФЦП ЯРБ-2 вывезено и переработано уже около 30 тонн ОЯТ исследовательских реакторов.

Облученные блоки

Еще одной проблемой, требующей безотлагательного решения, было наличие значительного количества отработавших топливных элементов ПУГР с высоким обогащением. С целью полного освобождения площадок ФГУП «ГХК» и АО «ОДЦ УГР» от облученных блоков ДАВ, БИГ, ОСУБ и блоков на основе тория выполнялась транспортировка их на переработку на ФГУП «ПО «Маяк». Необходимость их вывоза для последующей переработки обуславливалась нарастанием коррозионных повреждений оболочек блоков, приводивших к разгерметизации части блоков, выходу и накоплению радионуклидов в илах бассейнов выдержки. В 2024 году площадка АО «ОДЦ УГР» полностью освобождена от облученных блоков (площадка ФГУП «ГХК» была освобождена ранее).

ОЯТ атомного флота

В реакторных установках атомного ледокольного флота использовалось уран-циркониевое ядерное топливо, технологий переработки которого до недавнего времени не было. На территории ФГУП «Атомфлот» накопилось большое количество контейнеров с данным типом ОЯТ, которое в рамках ФЦП ЯРБ-2 было выгружено из выведенной из эксплуатации плавучей технической базы «Лепсе». В 2019 году на ФГУП «ПО «Маяк» на основе разработанной технологии впервые выполнена успешная переработка такого топлива. После отработки всех процессов с территории ФГУП «Атомфлот» начался регулярный вывоз данного типа ОЯТ. В рамках второго этапа Программы ОЯТ, выгруженное из плавтехбазы «Лепсе», полностью переработано.



Рисунок 23 **Перегрузка ОЯТ плавучей технической базы «Лепсе»**

3.2.3 Общие итоги работ

Ключевые результаты по данному направлению работ отражены в двух целевых показателях, которые в период 2021–2025 годов были выполнены или перевыполнены: количество вывезенных на централизованное хранение ОТВС и количество переработанного ОЯТ. Фактические значения показателей по годам реализации Программы представлены на рисунках 24 и 25.

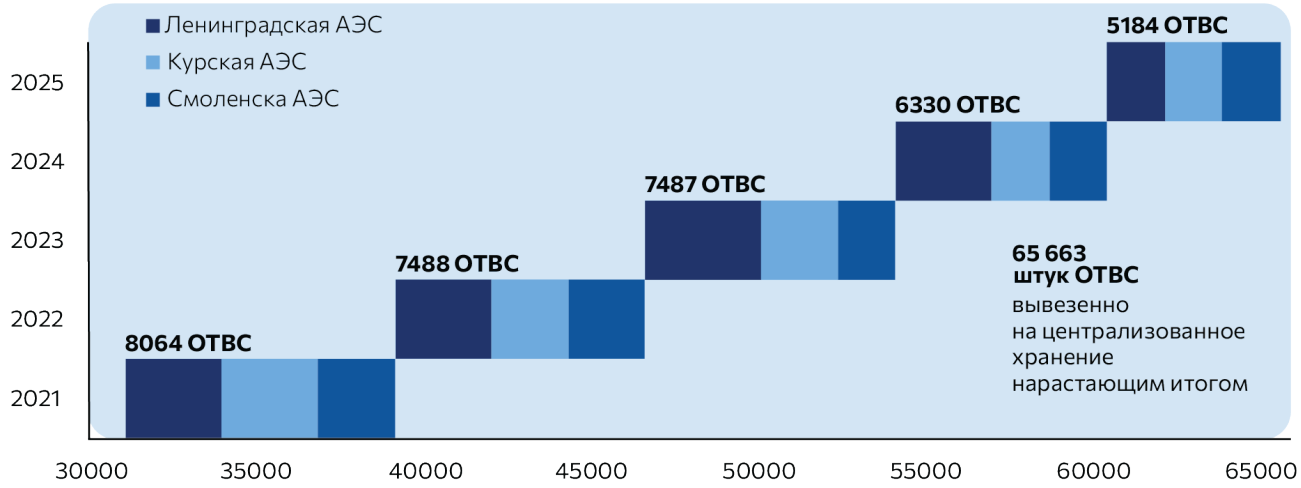


Рисунок 24 **Размещение ОТВС на «сухое» хранение на ФГУП «ГХК»**

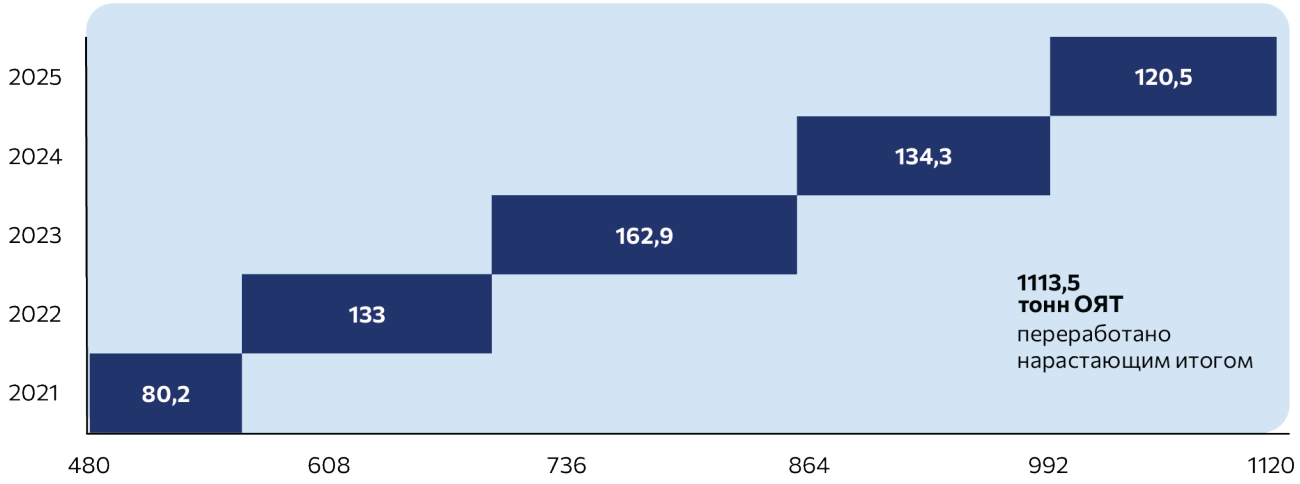


Рисунок 25 **Переработка ОЯТ различных типов на ФГУП «ПО «Маяк»**

4. РЕШЕНИЕ НАКОПЛЕННЫХ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С РАО

4 РЕШЕНИЕ НАКОПЛЕННЫХ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ ОБРАЩЕНИЯ С РАО

По итогам второго этапа Программы:

- **продолжаются практические и научно-исследовательские работы по созданию подземной исследовательской лаборатории в Нижнеканском массиве**
- **завершено строительство двух модулей пунктов финальной изоляции РАО в городах Северск и Озерск**
- **на ФГУП «ПО» Маяк» введена в эксплуатацию электропечь ЭП-250/6 для переработки высокоактивных отходов и ведется строительство пункта их хранения**
- **на 85% завершено строительство комплекса по переработке РАО на площадке Сергиево-Посадского филиала ФГУП «РАДОН»**
- **на АО «СХК» ведется консервация пульпохранилищ ПХ-1 и ПХ-2**
- **завершена реконструкция хранилища РАО «Среднее» на территории ПАО «ППГХО»**
- **извлечены, переработаны, кондиционированы, приведены к критериям приемлемости для захоронения и переданы на захоронение 40 тысяч м^3 РАО**

Политика обращения с РАО в Российской Федерации нацелена на переход от практики «отложенных решений» к решению накопленных проблем, включая ненакопление и безопасное захоронение РАО. Реализуемые сегодня подходы учитывают обязательства Российской Федерации, вытекающие из Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами, а также закрепленные законодательно международно признанные принципы «защиты будущих поколений» и «невозложения чрезмерного бремени на будущие поколения». Федеральным законом от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» установлены требования к захоронению РАО и определены действия по созданию Единой государственной системы обращения с ними (ЕГС РАО).

Развитие ЕГС РАО предусматривает решение следующих ключевых задач:

- инфраструктура по захоронению РАО должна соответствовать накопленным объемам, передаваемым на захоронение, в том числе учитывать образующиеся РАО при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии и реабилитации радиационно загрязненных территорий;
- удаляемые отходы должны быть переработаны, кондиционированы, приведены к критериям приемлемости для захоронения и захоронены;
- пункты размещения особых РАО должны быть законсервированы и/или преобразованы в пункты захоронения особых РАО;
- деятельность по обращению с РАО должна отвечать критериям безопасности, экономической эффективности и общественной приемлемости.

Одним из ключевых объектов ЕГС РАО является сооружаемая подземная исследовательская лаборатория (ПИЛ), которая создается для оценки возможности глубинного захоронения РАО классов 1 и 2 на участке недр, рассматриваемом в качестве потенциально пригодного для этих целей. Выводы о возможности захоронения РАО будут сделаны только по результатам оценок безопасности, базирующихся на итогах длительного периода исследований параметров геологической среды и наработки технологических решений. Помимо исследовательских задач, ПИЛ будет выполнять функции демонстрационной площадки для экспертного сообщества и общественных организаций. Исследования принципиальных аспектов безопасности захоронения РАО в натурных условиях в совокупности со всесторонней экспертной поддержкой и подключением общественности будут являться существенным прогрессом в разрешении имеющихся неопределенностей и выявлении неочевидных на сегодняшний день вопросов в части захоронения РАО в глубоких геологических формациях.

Наряду с проектированием и созданием пунктов глубинного захоронения высокоактивных отходов ведется строительство приповерхностных пунктов захоронения с целью обеспечения безопасной, надежной и контролируемой изоляции низко- и среднеактивных РАО от окружающей среды, защищая население и природу, прекращая накопление отходов и переходя к планомерному снижению их объёмов.

Основные направления практических работ по обращению с радиоактивными отходами в рамках второго этапа ФЦП ЯРБ-2 включали в себя:

- удаление накопленных РАО из пунктов хранения (АЭС, ФГУП «РАДОН», ФГУП «Атомфлот» и других предприятий атомной отрасли) и обращение с РАО, образованными в ходе выполнения работ по выводу из эксплуатации ЯРОО и реабилитации радиационно загрязненных территорий;
- подготовку РАО к захоронению (включая сортировку, переработку, кондиционирование, приведение к критериям приемлемости для захоронения, паспортизацию);
- транспортировку и передачу РАО на захоронение Национальному оператору по обращению с радиоактивными отходами (ФГУП «НО РАО»);
- обращение с «особыми» РАО (РАО, для которых риски и затраты при извлечении их из пункта хранения и последующем обращении превышают риски и затраты, связанные с захоронением в месте нахождения) – подготовку к консервации и консервацию пунктов размещения твердых и жидких РАО.

4.1 Проектирование и строительство ПИЛ в составе ПГЗРО для РАО классов 1 и 2

Пункт глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО) — это сооружение на глубине более ста метров от поверхности земли, предназначенное для размещения РАО классов 1 и 2 без намерения их последующего извлечения и обеспечивающее радиационную безопасность работников такого пункта, населения и окружающей среды в течение периода потенциальной опасности радиоактивных отходов. В мировой практике такие объекты сооружаются в глубоких геологических формациях для захоронения высокоактивных и среднеактивных долгоживущих РАО.

В 2018 г. была утверждена Стратегия создания ПГЗРО [9], устанавливающая приоритеты долгосрочной деятельности по проектированию и строительству уникального в России объекта на участке Енисейский (г. Железногорск, Красноярский край), а также очерёдность сооружения данного объекта, подразумевающую отдельный этап создания и эксплуатации подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ).

По итогам выполнения мероприятий из состава Стратегии за 5-летний период с момента её утверждения была произведена её актуализация, в т. ч. для детализации отдельных вех в составе графика проекта создания ПИЛ и ПГЗРО. Как результат в 2025 году был разработан и утверждён ряд соответствующих документов — Концепция, а также утверждена Комплексная программа создания ПИЛ и ПГЗРО. Ключевым документом в развитии Стратегии является утверждённая Генеральным директором Госкорпорации «Росатом» «Комплексная программа создания ПИЛ и ПГЗРО» (далее — Комплексная программа), которая учитывает результаты работ по проекту, начатых в 2017 г., также предусматривает ввод в эксплуатацию ПИЛ — комплекса подземных сооружений и наземной инфраструктуры непосредственно на участке Енисейский до 2031 г. в рамках Фазы 2, последующее её развитие и сооружение первого пускового комплекса ПГЗРО (1 ПК ПГЗРО) в конце Фазы 3 — не позднее 2035 г. Для балансировки ключевых задач проекта, а также временных и финансовых нагрузок, Комплексной программой зафиксированы основные составляющие/участки исследовательского комплекса ПИЛ, в том числе предусмотрена опция задействования условий объекта-аналога ПИЛ (ПИЛ общего назначения) для выполнения части исследовательской программы, предполагающей выполнения в условиях подземных объектов. Одним из значимых аспектов Комплексной программы является конкретизация перечня объектов в составе ПИЛ, что по своей сути подтверждает её существование по совокупности работ и задействованных участков.

ПИЛ на участке Енисейский — это уникальный научно-исследовательский комплекс, главная цель которого — детальное изучение и уточнение характеристик выбранного участка недр и оценка возможности окончательной изоляции радиоактивных отходов классов 1 и 2 в его границах с учетом всех существующих требований безопасности. В целях координации работ приказом Госкорпорации «Росатом» Научным руководителем работ по проекту создания ПГЗРО назначен ИБРАЭ РАН.

Исследования, осуществляемые и планируемые в ПИЛ (рисунок 27) включают:

I. Исследования в наземном комплексе (на поверхности):

- группа 1 – специальные работы и исследования в рамках лабораторно- аналитического сопровождения исследований Групп 2–4, проводимые в районе строительства ПИЛ, в условиях объекта-аналога (ПИЛ общего назначения), а также инженерного и инструментального обеспечения исследований Групп 2–4.

II. Исследования в подземном комплексе (в горных выработках):

- группа 2 – исследования, выполняемые в период строительства комплекса подземных сооружений при горнопроходческих работах («при проходке всех выработок»);
- группа 3 – исследования, выполняемые в период эксплуатации ПИЛ, не требующие обособленных горных выработок. Для их выполнения не требуется создание крупногабаритных установок, способных помешать перемещению подземного оборудования при эксплуатации ПИЛ («в основных выработках»);
- группа 4 – исследования, выполняемые в специализированных исследовательских горных выработках («в обособленных выработках»).

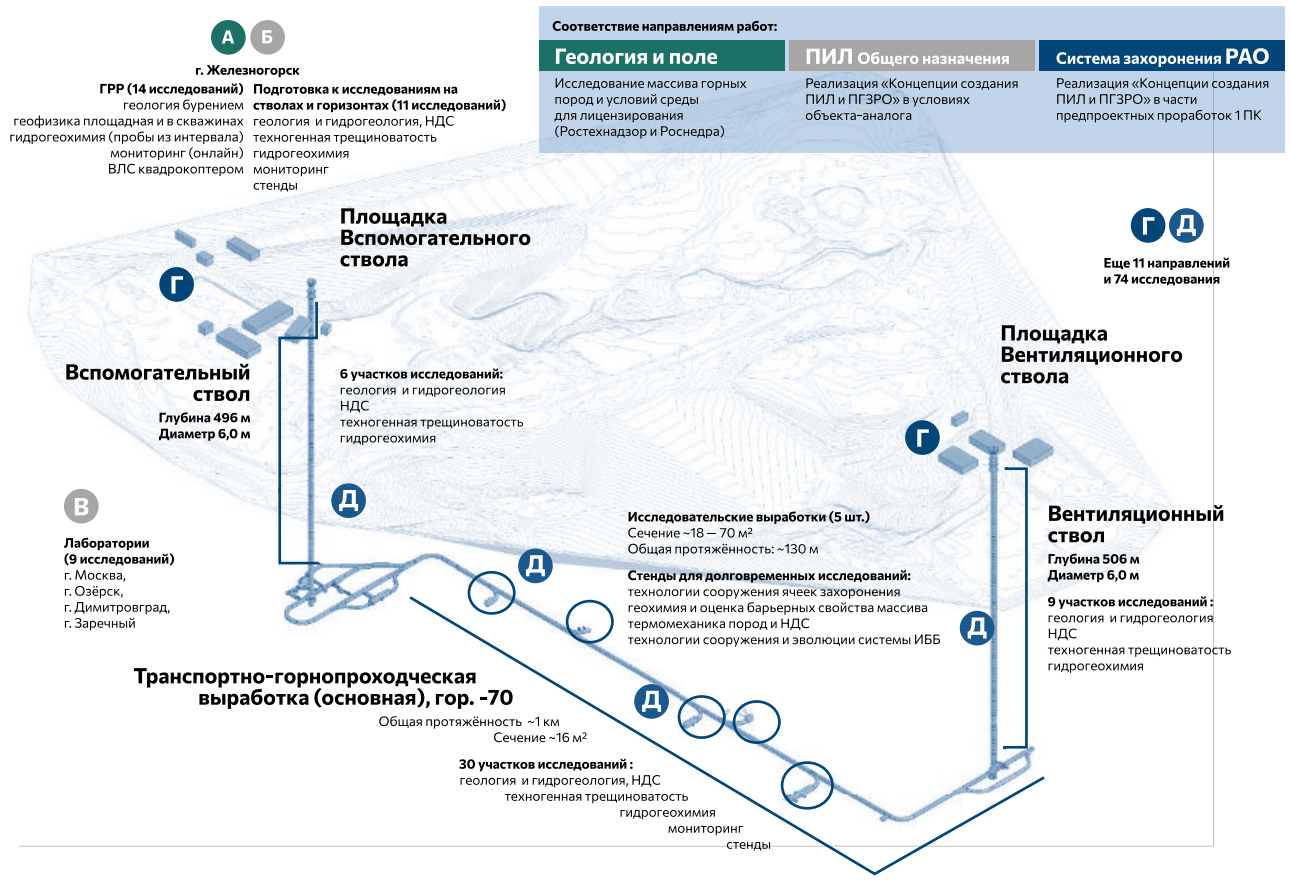


Рисунок 26 **Срез работ по проекту создания ПИЛ и ПГЗРО на начало Фазы 2 утверждённой Комплексной программы**

Подробный список исследований в ПИЛ, разработанный в соответствии с требованиями российских нормативных документов и международных рекомендаций, утвержден Госкорпорацией «Росатом» в 2019 году и включен в состав Комплексной программы исследований в обоснование долговременной безопасности захоронения РАО и оптимизации эксплуатационных параметров.

Результаты исследований и экспериментов на всех участках ПИЛ (см. рисунок 27), полученные в период её сооружения и эксплуатации, а также при сооружении и эксплуатации ПГЗРО, позволят:

- подтвердить или скорректировать имеющиеся представления по облику ПГЗРО, включая его первый пусковой комплекс (1 ПК ПГЗРО);
- уточнить мощность, производительность и продолжительность этапов жизненного цикла ПГЗРО, а также состав мероприятий по его закрытию;
- сформировать исчерпывающий набор аргументов в части обоснования долговременной безопасности объекта и принятия решения о захоронении РАО в выбранном массиве;
- апробировать проектные решения по размещению РАО в 1 ПК ПГЗРО и оценить возможность применения наиболее современных подходов к сооружению, технологического оборудования, инженерных барьеров безопасности;
- создать 1 ПК ПГЗРО как прообраз полномасштабного захоронения, решение о размещении которого будет приниматься по мере формирования исчерпывающих аргументов в части обоснования долговременной безопасности ПГЗРО;
- оценить возможность увеличения объемов захоронения РАО за счёт вовлечения соседних с блоком захоронения участков массива горных пород.

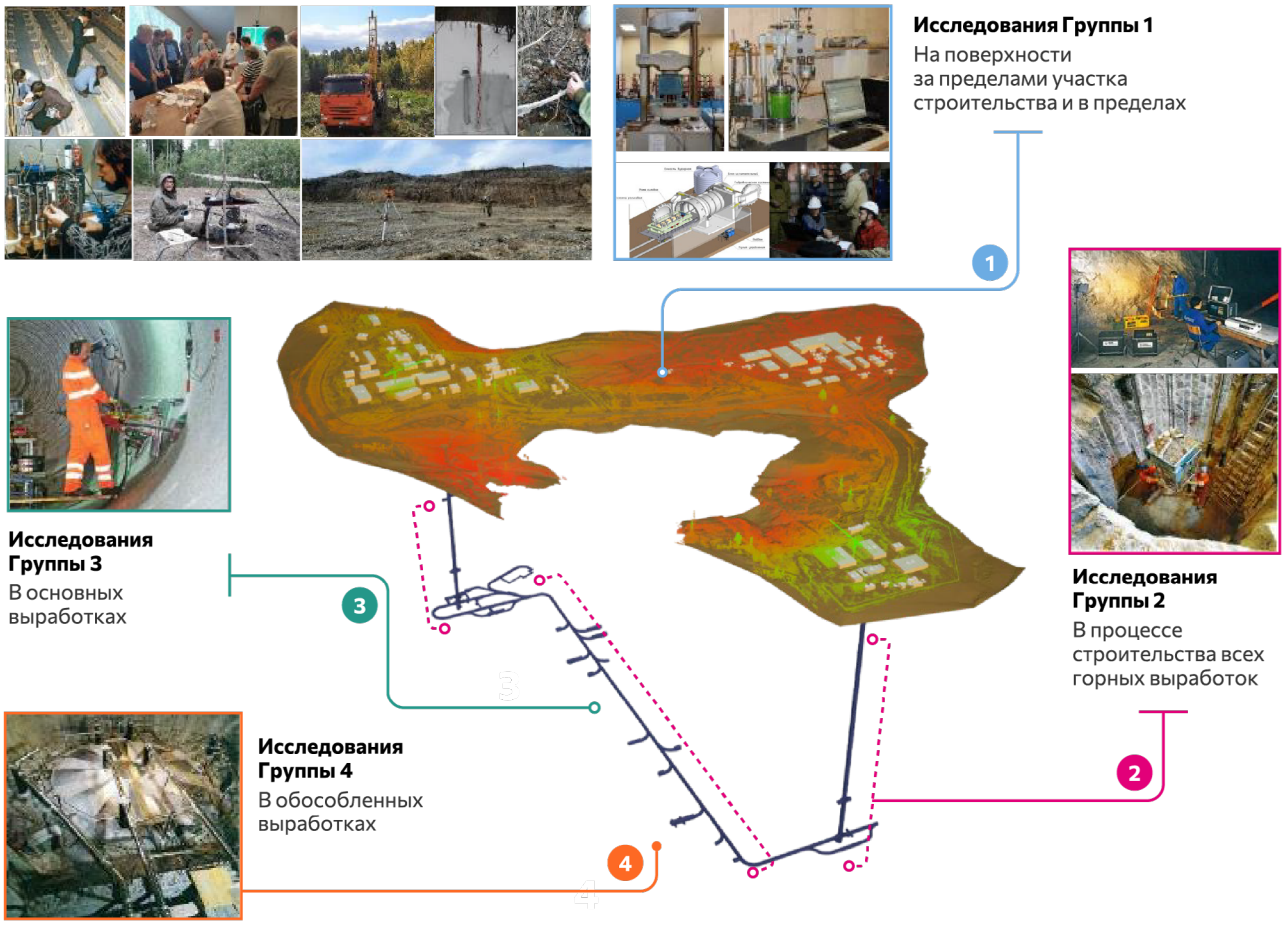


Рисунок 27 **Участки проведения исследований, осуществляемых и планируемых в ПИЛ**

Полевые работы – сопровождение реализации программы ГРР и мониторинга, включая полевые работы в районе строительства ПИЛ

В 2022 году с Департаментом по недропользованию по Центрально-Сибирскому округу была согласована программа мониторинга состояния недр, обязательная для объектов недропользования. Через год получено положительное заключение на проектную документацию «Разведка Енисейского участка, предназначенного для захоронения радиоактивных отходов» (проект ГРР), которое позволило начать выполнение полевых геологических работ, в т. ч. при проходке стволов ПИЛ/ПГЗРО.

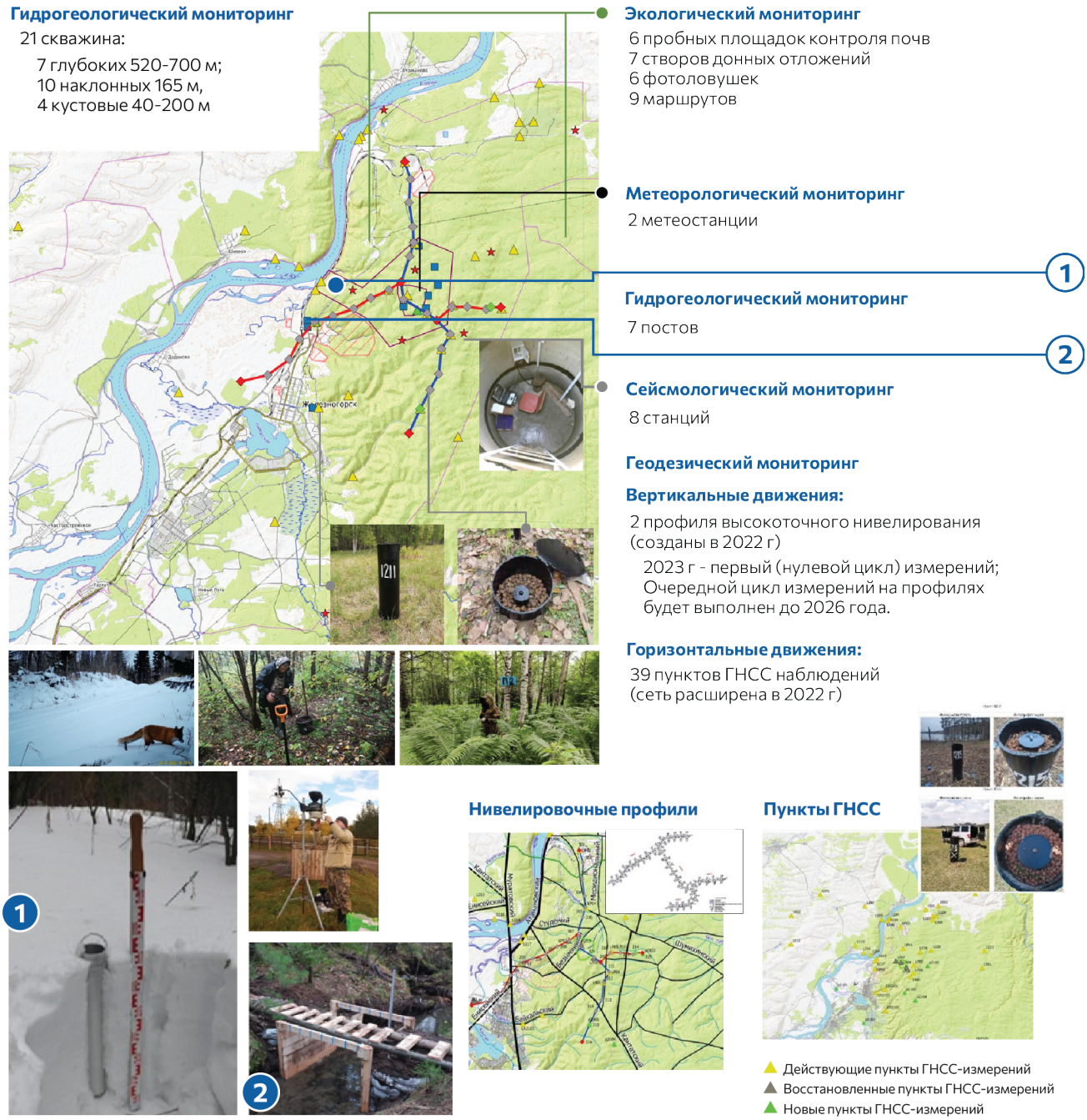


Рисунок 28 Сеть долговременных наблюдений в районе расположения участка строительства ПИЛ и ПГЗРО

Чрезвычайно важным вопросом как в составе мониторинга (рисунок 28), так и отдельных исследований параметров горного массива участка Енисейский является установление направлений и скоростей фильтрации по трещинам разной природы. Данная информация необходима для уточнения прогнозов миграции радионуклидов с подземными водами. Для этих целей разработана и внедрена экспериментальная установка на основе пакеров, позволяющая проводить специализированные опытно-фильтрационные работы (ОФР) с целью поиска трещин в массиве (рисунок 29).



Рисунок 29 **ОФР с применением экспериментальной пакерной установки на существующих скважинах.**
А — круглогодичный мониторинг;
Б — отбор проб воды из проницаемых трещиноватых участков в массиве

Последовательная работа по данному направлению позволит уточнять разведочные данные, развивать теорию движения подземных вод на Енисейском участке и прилегающей территории и обосновать конечные параметры течения жидкостей по трещинному коллектору, соответствующего региональному стоку. Развитие и масштабирование методики ОФР в сети существующих и новых скважинах, сооружаемых по утверждённому проекту ГРР, позволит в дальнейшем получить необходимый набор данных для геомиграционных расчётов.

Определение химического состава подземных вод участка Енисейский

К значимым результатам исследований свойств массива горных пород участка Енисейский периода 2021–2025 гг. относится определение химического состава трещинно-жильных вод, поднятых с целевых глубин планируемого захоронения. Эти данные необходимы для задания начальных условий при проведении экспериментальных

исследований и модельных расчётов по определению параметров эволюции барьерных материалов (изменения свойств материала буферной зоны, размывание буфера на границе, деградация материалов на основе цемента, коррозия металлического контейнера для РАО) и процессов, сопровождающих перенос радионуклидов через систему барьерных материалов (сорбция, комплексообразование).

Сам отбор проб являлся нетривиальной задачей, которая была успешно решена по завершению полевого сезона 2025 года (рисунок 29 Б). На глубине, где планируется захоронение РАО, обводненность скального массива слабая, а распространённые гидрогеологические методы и оборудование в таких условиях не применяется. Для отбора проб со слабообводнённых трещинных глубинных горизонтов был подобран комплекс геофизических и гидрогеологических методов, позволяющих определить наличие малых водопритоков в сети скважин, пройденных на участке Енисейский. Полученные результаты позволили сделать вывод, что по исследуемой трещине в ствол скважины поступает именно вода с целевого горизонта в массиве, в октябре была отобрана и передана на исследования представительная проба.

Результаты гидрогеохимического анализа доказали, что подземные воды участка Енисейский по своему происхождению относятся преимущественно к инфильтрационным, а закономерности изменения химического состава подземных вод с глубиной указывают на преобладание нисходящего направления водообмена. Такая гидрогеологическая обстановка может рассматриваться как благоприятный фактор для условий размещения ПГЗРО.

Одним из наиболее значимых результатов исследований массива горных пород участка Енисейский в 2021–2025 гг. стало получение представительных данных о химическом составе трещинно-жильных вод непосредственно для глубин, соответствующих планируемому размещению ПГЗРО.

Полученные данные позволили уточнить общую схему формирования химического состава подземных вод участка и определить типовой состав подземных трещинно-жильных вод целевого горизонта участка Енисейский. Поверхностные воды и воды верхней части массива имеют преимущественно гидрокарбонатный магниево-кальциевый состав. С глубиной возрастает роль взаимодействия воды с алюмосиликатными минералами кристаллических пород и формируются гидрокарбонатные натриевые, или содовые, воды. Основным процессом формирования их состава является углекислотное гидролитическое выщелачивание алюмосиликатных минералов, прежде всего плагиоклазов и калиевых полевых шпатов. Полученные данные о составе используются как единая исходная характеристика для дальнейших экспериментальных исследований и расчетных работ, связанных с оценкой поведения инженерных барьеров, геохимических процессов и миграции радионуклидов.

Этот состав используется как единая исходная характеристика для дальнейших экспериментальных исследований и расчетных работ, связанных с оценкой поведения инженерных барьеров, геохимических процессов и миграции радионуклидов.

Тем самым в 2025 году была решена одна из принципиальных задач, остававшихся открытыми на предыдущих этапах изучения участка: от отдельных результатов гидрохимического опробования удалось перейти к обоснованному типовому составу воды непосредственно для условий глубинного размещения РАО.

Разработка обосновывающих материалов по компоновочным решениям для 1 ПК ПГЗРО

На основе результатов моделирования всей системы захоронения с учётом процессов, протекающих при нормальной эволюции захоронения, подготовлены первичные предложения по компоновочным решениям для захоронения РАО класса 1, позволяющие упростить транспортно-технологическую схему ПГЗРО, а также предусмотреть возможность размещения в выбранном массиве дополнительных объёмов РАО.

Выбор технических решений осуществляется как с учётом российских нормативных требований, так и международных принципов обоснования безопасности глубинного захоронения РАО. В 2024 году проведено сравнение набора предварительных решений компоновок РАО класса 1 по важнейшим техническим, технологическим, логистическим аспектам. Из рассмотренных вариантов выделены 2 типа компоновок как наиболее перспективные — захоронение РАО в вертикальных коротких тупиковых скважинах и горизонтальных выработках — тоннелях и каньонах (рисунок 30).

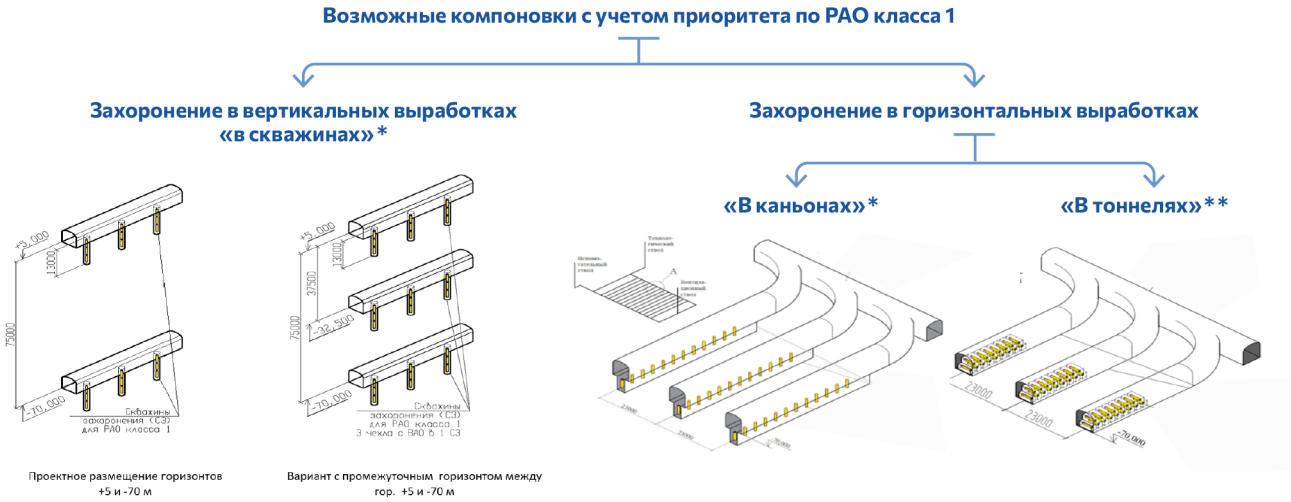


Рисунок 30 **Перспективные компоновки захоронения РАО класса 1 в ПГЗРО на участке Енисейский**

Приоритетной для отработки в серии полномасштабных исследований ПИЛ и последующего применения в 1 ПК ПГЗРО выбрана каньонная компоновка (рисунок 31), являющаяся одним из вариантов захоронения РАО в горизонтальных выработках. Данный выбор сделан исходя из следующих критериев отбора:

- обеспечение требуемой ёмкости и производительность ПГЗРО по РАО класса 1 и 2;
- применяемые технологические решения в отношении системы барьеров безопасности не должны ухудшать прогнозы по эксплуатационной и долговременной безопасности захоронения;
- технологическая реализуемость решений с учётом плановых сроков ввода в эксплуатацию объектов ПИЛ и 1 ПК ПГЗРО.

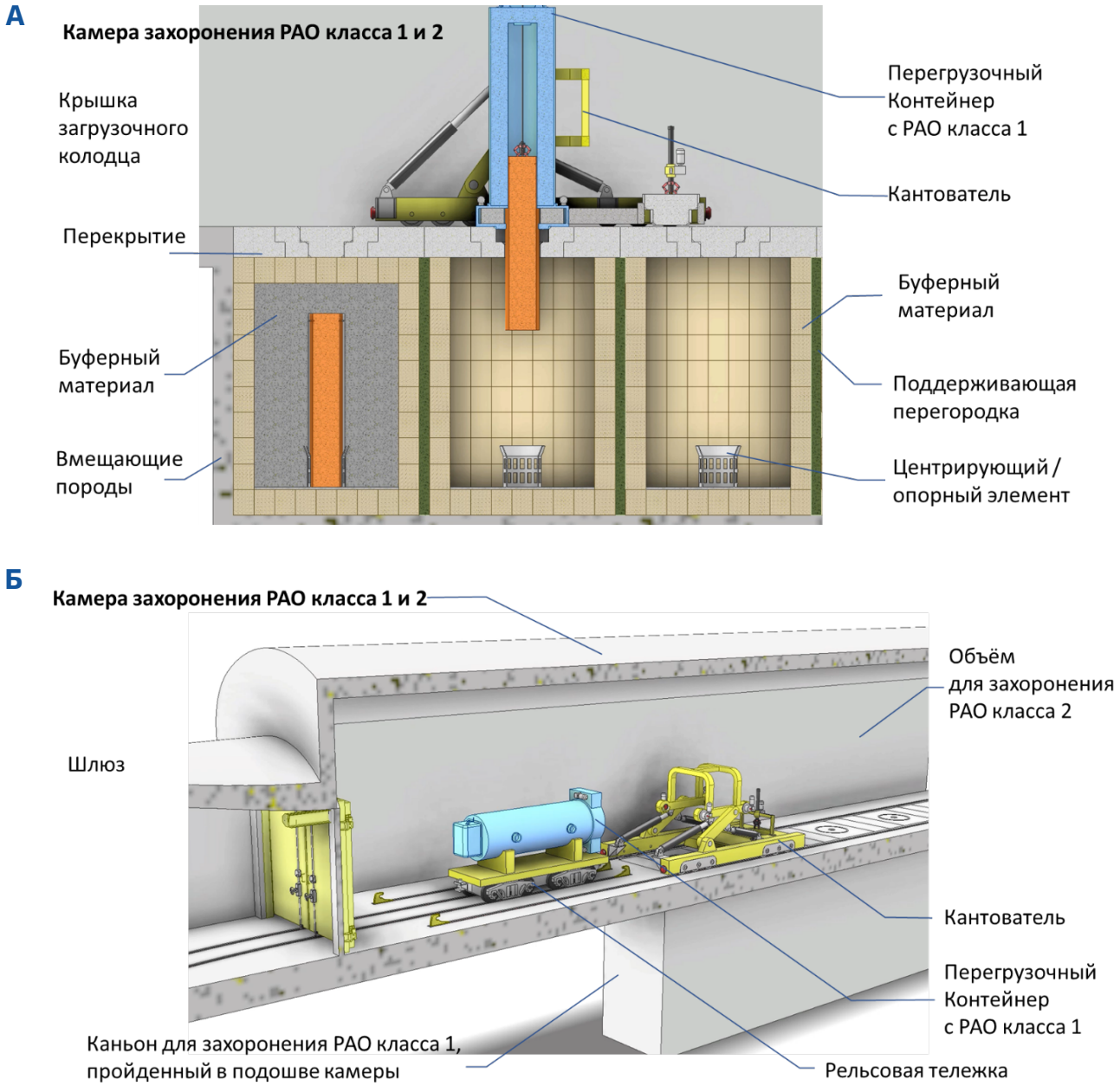


Рисунок 31 **Модель выработки с технологическим оборудованием (А), а также схема загрузки контейнера (Б) для каньонной компоновки захоронения РАО в 1 ПК ПГЗРО**

В связи с последним аспектом компоновка захоронения накопленных РАО класса 1 в вертикальных тупиковых выработках, являющаяся аналогом зарубежной компоновки KBS-3V, на сегодняшний день отнесена к резервной, а её применимость в составе как 1 ПК ПГЗРО, так и на последующих этапах развития проекта создания ПГЗРО будет оцениваться по мере подготовки / доступности необходимых технических решений, включая необходимое горнопроходческое оборудование.

Научное обоснование выбора и применения буферных материалов

Обеспечение безопасности ПГЗРО до необходимого уровня невозможно без применения буферного материала в составе барьеров безопасности захоронения. Буферный материал на основе бентонитового/глинистого сырья, являющийся неотъемлемой частью инженерных барьеров безопасности (ИББ), должен обеспечить защиту в период потенциальной опасности захораниваемых отходов при различных сценариях эволюции захоронения.

Для обоснования выбора материала для создания буферного слоя на различных участках ПГЗРО и решения иных связанных задач на базе ИГЕМ РАН создана профильная лаборатория — Научный центр «Инженерные барьеры» — оснащённый исследовательским оборудованием, а также стендами по изучению поведения буферных материалов в ожидаемых условиях ПГЗРО на различных этапах его жизненного цикла, включая долгосрочный период (рисунок 32).

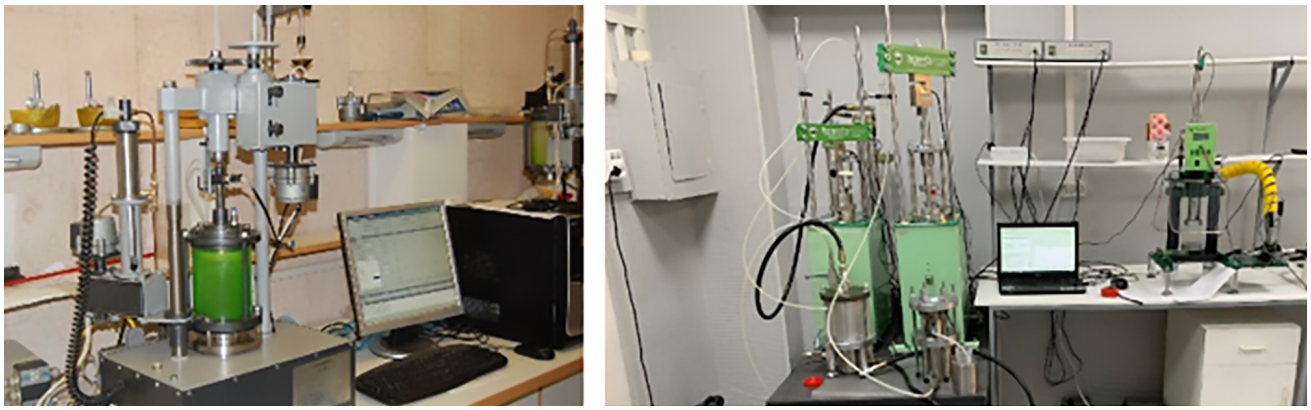


Рисунок 32 **Исследовательские ячейки Научного центра «Инженерные барьеры», созданного на базе ИГЕМ РАН**

За 2021–2025 годы получены следующие результаты:

- сформулированы требования к глинистому материалу для изготовления буферного слоя, обоснован выбор применения компактированных бентонитов;
- определено, что наиболее перспективными являются бентониты месторождения «10-й Хутор» (Республика Хакассия), а также их аналоги;
- создано уникальное исследовательское оборудование для физического моделирования процессов эволюции состава и свойств материалов ИББ в условиях негативных факторов ПГЗРО;
- получены первичные оценки физических, физико-химических, физико-механических, теплофизических и других свойств глинистых материалов в различном сложении, в том числе набухаемость, водо- и газопроницаемость, проведены оценки геотехнических параметров изделий из компактированных бентонитов;
- предложен макет технологической линии для создания полноразмерных изделий из компактированных бентонитов для создания ИББ;

- получены численные характеристики миграционных свойств по отношению к радионуклидам Cs, Sr, U, Np, оценены свойства глинистых коллоидов и их влияние на коллоидный транспорт радионуклидов, а также первые данные о контактных взаимодействиях друг с другом различных компонентов в составе СИБ;
- сформулированы принципы разработки экспериментов в ПИЛ и подготовлены дизайн-проекты долгосрочных экспериментов.

Формирование облика подземной лаборатории и разработка технического задания на подготовку проектных решений по обустройству первоочерёдных объектов ПИЛ

Формирование облика ПИЛ – результат итерационной проработки базовых решений планируемого ПГЗРО на участке Енисейский. Создаваемая на данном участке лаборатория должна стать неотъемлемой частью ПГЗРО и сопровождать весь срок его эксплуатации, что накладывает ряд ограничений:

- подземные сооружения и применяемые строительные решения должны обеспечить возможность использования основных горных выработок для нужд ПГЗРО;
- при сооружении ПИЛ должны применяться методы проходки выработок, обеспечивающие минимальное техногенное воздействие на целостность окружающего массива;
- объём первоочередных сооружений ПИЛ и проводимых в них работ должен обеспечить сбор информации для обоснования долговременной безопасности, принятия решения о темпах и стадийности сооружения целевого объекта ПГЗРО;

По данному направлению к концу 2025 года завершены следующие работы:

- определены требования к составу исследований в ПИЛ, результаты которых будут являться исходными данными для оценки долговременной безопасности;
- определена последовательность выполнения работ/исследований и условий, необходимых для их выполнения, в т. ч. выделены подготовительные фазы долгосрочных исследований, которые будут определять итоговый облик установок в подземном комплексе;
- сформированы исходные данные для обустройства комплекса ПИЛ (наземная и подземные части);
- подготовлены рекомендации по очередности создания комплекса сооружений ПИЛ на участке Енисейский;

Как один из результатов, фиксирующий результаты вышеперечисленных проработок, утверждена Концепция создания подземной исследовательской лаборатории и пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов.

Стендовые испытания перспективных материалов для изготовления контейнеров, предназначенных для захоронения РАО

Долговременная безопасность ПГЗРО строится на принципе многобарьерной защиты, согласно которому безопасность обеспечивается совместным действием инженерных и естественного (вмещающие породы) барьеров. В составе системы инженерных барьеров (СИБ), для ПГЗРО на участке Енисейский контейнер является одним из основных компонентов.

Такие параметры, как толщина стенки контейнера, расчётные прогнозы о сохранении им изоляционных свойств в установленный нормативными документами период времени, а также выбор конструкционных материалов должны быть подкреплены результатами испытаний, выполненных с учётом имитации ожидаемых в ПГЗРО воздействий — механических и коррозионных в условиях повышенных температурных и радиационных нагрузок и проч. Толщина стенки контейнера складывается из двух составляющих: значения, обоснованного прочностными параметрами, и экспериментально подтвержденного допуска на коррозию, при выборе которого, согласно мировому опыту, необходимо учитывать факторы, способствующие развитию коррозионных процессов, в привязке к возможным сценариям эволюции захоронения на период 1 000 лет и более. Для выбора перспективных материалов были учтены международные подходы к созданию контейнеров, предназначенных для захоронения ОЯТ и ВАО (рисунок 33), а для получения данных стендовых испытаний на мощностях предприятий из контура Госкорпорации «Росатом» начиная с 2024 г. проводятся подготовительные работы и непосредственно выполняются сами испытания.

Существующая и вновь создаваемая экспериментальной база ГНЦ РФ «НПО «ЦНИИТМАШ» задействована для механических испытаний конструкционных элементов контейнера для РАО класса 1 с подробной имитацией бидона с ОВАО завода РТ-1 ФГУП «ПО «Маяк». Для испытаний были изготовлены также макеты перспективных упаковок и специальная оснастка. Для подготовки программ и методик испытаний задействованы компетенции ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», а также ФБУ «НТЦ ЯРБ», имеющего статус организации научно-технической поддержки Ростехнадзора (Решение Ростехнадзора от 10.06.2013).

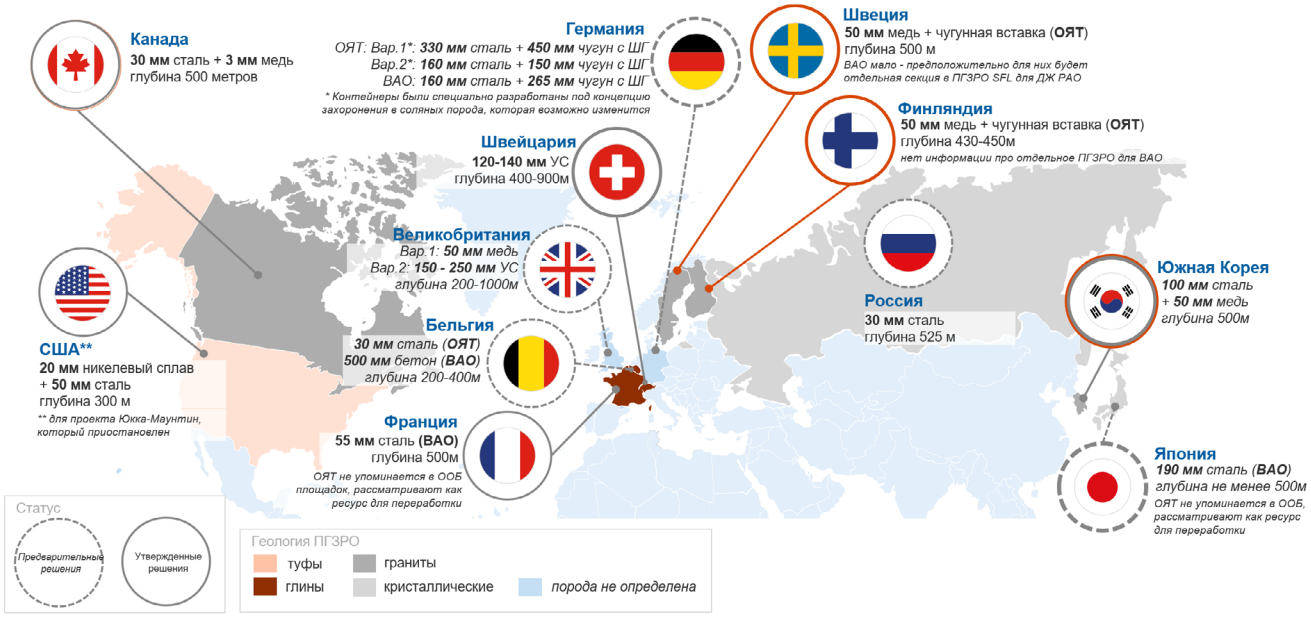


Рисунок 33 **Условия и применяемые материалы для изготовления контейнеров для ОЯТ и ВАО**

Не менее сложной задачей текущего периода является определение допуска на коррозию, включая создание необходимых для этого условий, ожидаемых в ПГЗРО. Развитию коррозионных процессов материала контейнера будет способствовать множество процессов, характерных для ПГЗРО: термические и радиационные нагрузки, химические и микробиологических воздействия (подземные воды, материалы крепи камеры захоронения, буферные материалы, естественная и привнесенная микробиота). Вклад каждого фактора в развитие коррозионных процессов, как и условия их протекания, варьируются на различных этапах жизненного цикла захоронения и должны быть учтены как при подготовке, так и проведении коррозионных испытаний перспективных конструкционных материалов.

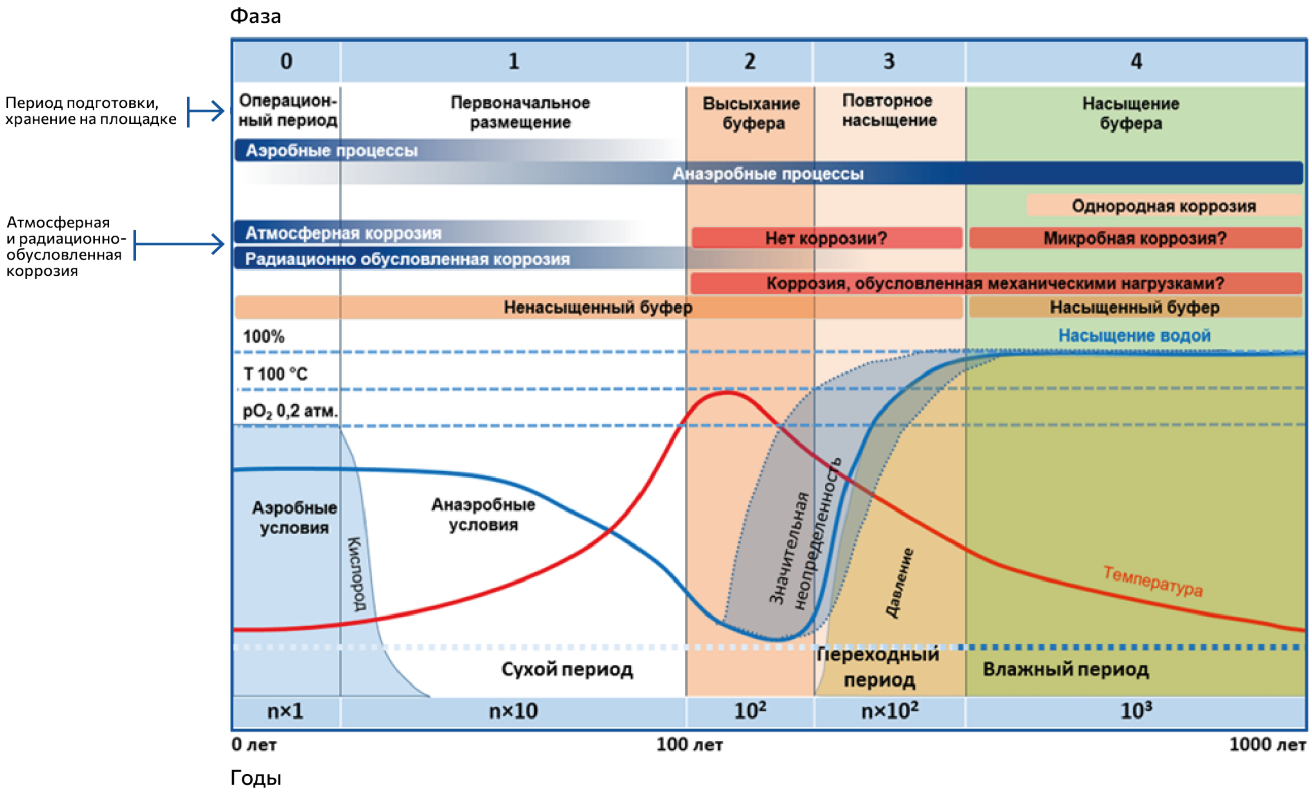


Рисунок 34 **Диаграмма процессов в зоне ПГЗРО в увязке с фазами эволюции захоронения — начиная с загрузки ячеек (фаза 0) до восстановления гидродинамических условий после закрытия объекта (фаза 4)**

Для развёртывания на мощностях АО «ГНЦ НИИАР» коррозионных и материаловедческих исследований, которые будут выполняться на образцах перспективных металлов и сплавов с применением буферных материалов на основе бентонитового сырья и подземных вод участка Енисейский, в настоящее время ведётся активная работа по созданию стендовой установки, включая разработку программы и методики коррозионных и материаловедческих испытаний.

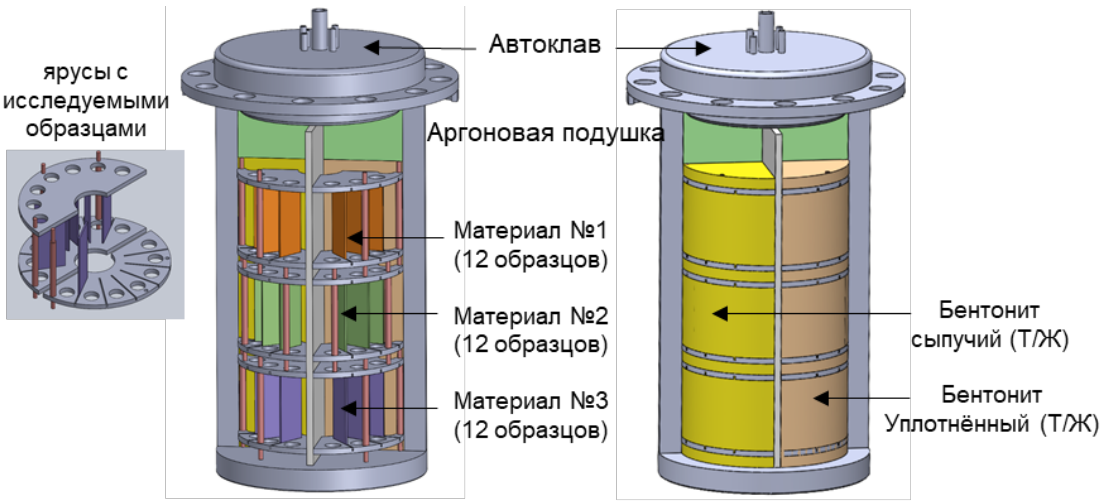


Рисунок 35 **Модель исследовательской ячейки в составе коррозионного стенда**

ПИЛ общего назначения в объекте – аналоге (ФГУП «ГХК»)

Согласно устоявшейся международной практике ПИЛ общего назначения (англ. «Generic URL [1]») создаются на площадках, где не будут захораниваться РАО. Такие лаборатории используют для исследования процессов и разработки, испытания и демонстрации технологий, методов и технических приемов, необходимых при выборе и обосновании площадки для ПГЗРО, его сооружения, эксплуатации и закрытия. Результаты проведенных исследований являются методологической поддержкой последующих работ на потенциальном участке захоронения.

Следуя мировому опыту, часть исследований из состава Комплексной программы исследований, в частности по Группе 1 исследований в ПИЛ (рисунок 27), будет выполнена с привлечением производственных мощностей ФГУП «ГХК». Т. е. объекты комбината, расположенные в большей степени схожем с участком Енисейский массиве скальных пород, будут задействованы в качестве исследовательских участков в составе проекта создания ПИЛ и ПГЗРО. Данный подход был одобрен по итогам его рассмотрения на нескольких заседаниях Секции № 3 «Безопасность объектов использования атомной энергии» НТС Ростехнадзора и НТС № 10 «Экология и радиационная безопасность» Госкорпорации «Росатом» (рисунок 36).

Ещё до вынесения рекомендаций об использовании объектов ФГУП «ГХК» в рамках отработки методик и разработанного исследовательского оборудования силами ИБРАЭ РАН была начата апробация подходов к определению свойств горных пород, запланированных на реализацию в процессе сооружения и эксплуатации ПИЛ: оценка нарушенности приконтурной зоны выработок и её водопроводящих свойств, тестирование геофизического оборудования, подходы к созданию исследовательских скважин из горных выработок (рисунок 37).

1 Underground Research Laboratories (URLs) – 2024 Update. Radioactive Waste Management and Decommissioning NEA/RWM/R(2023)2. December 2024. – 53 p

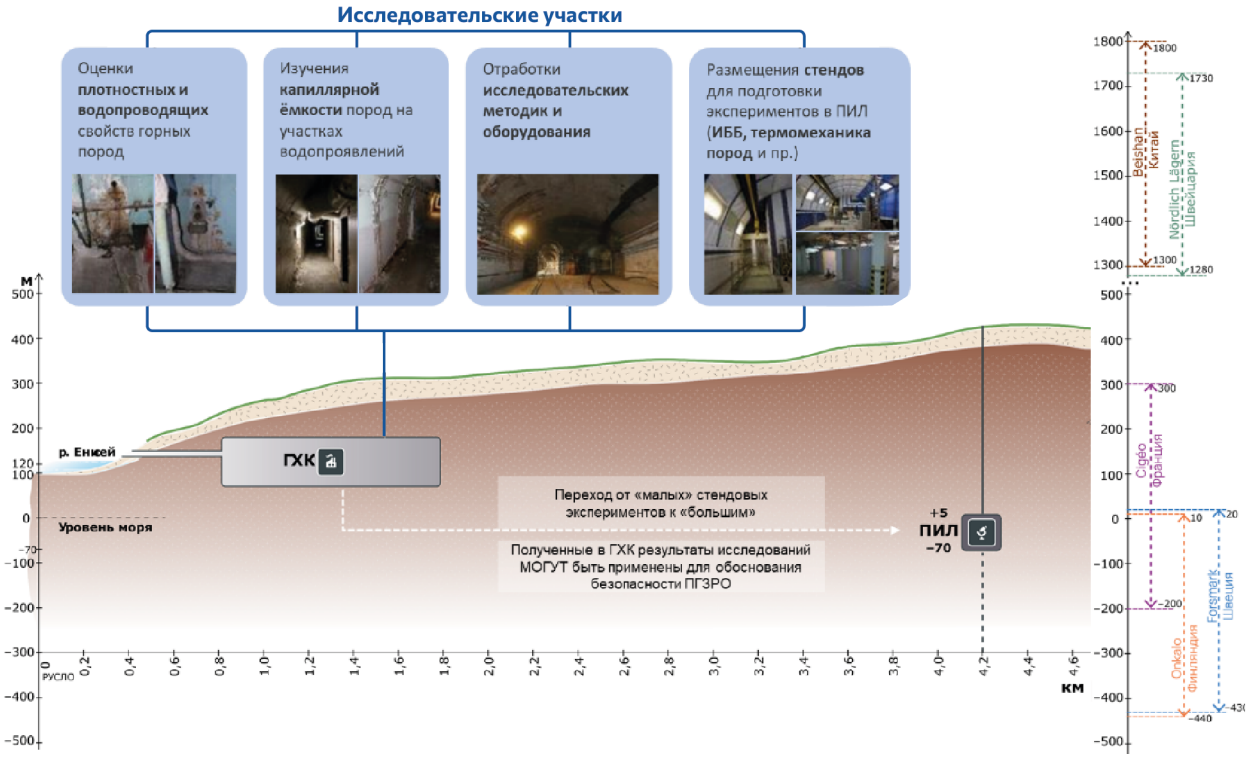


Рисунок 36 Обустройство ПИЛ общего назначения в объекте — аналоге (ФГУП «ГХК») и её положение относительно глубин размещения зарубежных объектов ПИЛ и ПГЗРО



Рисунок 37 Апробация подходов к определению свойств горных пород в процессе сооружения и эксплуатации ПИЛ. А — поиск трещинных неоднородностей каротажным оборудованием; Б — процесс проведения ультразвукового каротажа; В — скважинные ОФР

С целью расширения направлений сотрудничества по проекту создания ПИЛ и ПГЗРО, а также учёта рекомендаций НТС состоялась серия обсуждений с руководством ФГУП «ГХК», на которых специалистами ИБРАЭ РАН и ФГУП «НО РАО» были представлены исследовательская программа и перечень необходимых подготовительных мероприятий для развёртывания работ на отобранных по итогам полевого обследования перспективных подземных участков (рисунок 36).

Основной целью работ предстоящего периода будет являться отработка методик исследований массива, ориентированных на изучение приконтурной зоны подземных выработок, где свойства вмещающих пород изменены техногенным воздействием, а также участков ненарушенного массива, служащих фоновыми точками сравнения. Исследуемые характеристики массива (пространственное распределение трещиноватости, напряженное состояние, коэффициенты фильтрации, миграционные параметры, капиллярные свойства, а также параметры подземных вод) выбраны исходя из их значимости для формирования решений по обустройству ПИЛ непосредственно в недрах участка Енисейский, а также способов и параметров сооружения ключевых объектов 1 ПК ПГЗРО, в частности — камер для захоронения РАО.

Цифровые решения по сопровождению проекта

Наличие инструментов для эффективной работы с информацией является одним из обязательных условий успешной реализации проектов создания ПГЗРО, поэтому разработка и сопровождение информационно-аналитической инфраструктуры проекта было предусмотрено как одно из ключевых направлений утверждённой Комплексной программы исследований.

Ядром информационно-аналитической инфраструктуры проекта является база знаний PULSE (Project of the Underground Laboratory Scientific Escort). В ней агрегируются результаты исследований, получаемые в ходе выполнения Комплексной программы исследований. Также в рамках PULSE разрабатываются такие средства для управления информацией в рамках формирования обоснования долговременной безопасности (ОДБ), как инструменты для анализа требований; систематизации изученности объекта в терминах влияющих на безопасность факторов (особенностей, событий, процессов, ОСП); систематизации результатов численных оценок в формате сценариев эволюции объекта и т. д. Цель ближайших этапов — формирование проекта отчета по обоснованию безопасности ПГЗРО в формате интерактивного цифрового документа, демонстрирующего прозрачность и прослеживаемость аргументов безопасности и реализуемости проекта.

Дополняет информационно-аналитическую инфраструктуру еще один цифровой инструмент — цифровой прототип ПИЛ, который позволяет сопоставлять и анализировать в едином пространственном представлении наборы многомерных полей характеристик, представляющих различные аспекты проекта, например, планируемые эксперименты и результаты их моделирования, расположение исследовательских выработок ПИЛ и геологическую структуру площадки и т. д. (рисунок 38).

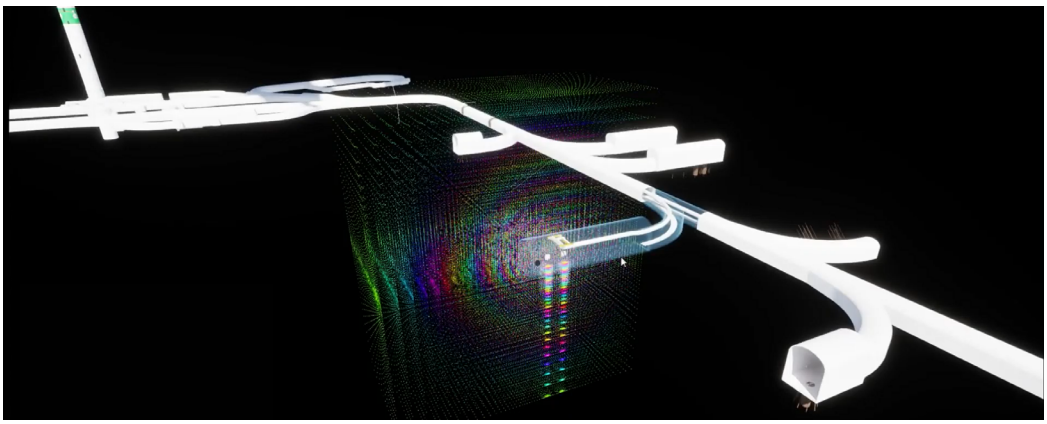


Рисунок 38 **Визуализация в составе цифрового двойника долговременного эксперимента в ПИЛ по оценке влияния остаточного тепловыделения от РАО класса 1 на вмещающие породы**

В ходе второго этапа ФЦП ЯРБ-2 для обеспечения электроэнергией и водоснабжением горнопроходческих работ завершено строительство «Энергокомплекса» объекта, включая линии электропередач, протяженностью 35 км, и центральную трансформаторную подстанцию. Построены административный корпус и бытовые объекты инфраструктуры (рисунок 39).



Рисунок 39 **Административный и бытовой корпуса**

Государственный надзор

Ростехнадзором совместно с организацией научно-технической поддержки Ростехнадзора ФБУ «НТЦ ЯРБ» проводится оценка полноты и достаточности исследований, запланированных в рамках реализации программ НИОКР, включая обзор состояния работ по сооружению ПИЛ, анализ информации, представляемой на научных семинарах и научно-технических советах Госкорпорации «Росатом» и Ростехнадзора по актуальным вопросам проекта создания ПИЛ и ПГЗРО. Результаты оценки будут использоваться для анализа полноты и достаточности исследований, проведенных в ПИЛ НКМ, и в рамках лицензирования Ростехнадзором деятельности по созданию ПГЗРО в Нижнеканском массиве.

4.2 Строительство пунктов финальной изоляции РАО классов 3 и 4

Создание инфраструктуры для финальной изоляции радиоактивных отходов — это стратегическая задача в области экологической безопасности. Она позволяет перейти от временного хранения РАО к их безопасному и окончательному размещению в специальных инженерных сооружениях, что полностью исключает воздействие на человека и окружающую среду. Такой подход соответствует как российским, так и международным стандартам, закрепленным в конвенциях МАГАТЭ.

ППЗРО представляют собой сооружения, размещаемые на поверхности земли или на глубине до ста метров от поверхности земли.

Первый в Российской Федерации ППЗРО был построен в рамках ФЦП ЯРБ на территории АО «УЭХК» в г. Новоуральске Свердловской области (1-я очередь). Прием РАО для захоронения начался в 2016 году. В конце 2020 года в рамках первого этапа ФЦП ЯРБ-2 были введены в эксплуатацию три объекта 2-й очереди. Общий объем пункта финальной изоляции РАО составил 55 тысяч м^3, его эксплуатация рассчитана до 2036 года (рисунок 40).



Рисунок 40 **Эксплуатация действующего ППЗРО**

В 2025 году завершено строительство первых модульных сооружений (карт) ППЗРО в городах Северск и Озерск, рассчитанных на прием РАО классов 3 и 4 в объеме 15,9 тысяч м^3 и 15 тысяч м^3 соответственно (рисунки 41 и 42). При их проектировании были разработаны уникальные технические решения по созданию инженерных барьеров безопасности и использованию геологической среды: каждый модуль представляет собой монолитное железобетонное сооружение с железобетонным основанием, устойчивым к механическим нагрузкам и барьеров из специальных глиняных материалов, предотвращающих миграцию радионуклидов за пределы ППЗРО.

Таблица 2 Характеристики строящихся ППЗРО

	ППЗРО г. Северск	ППЗРО г. Озерск
Общее количество модулей (карт)	**9**	**15**
Объем захоронения РАО (мощность), м^3, в том числе:	**142 700**	**225 000**
РАО 3 класса, м^3	**47 500**	**42 000**
РАО 4 класса, м^3	**95 200**	**183 000**
Годовая производительность ППЗРО по приему и размещению упаковок, м3, в том числе:	**10 000**	**15 000**
РАО 3 класса, м^3	**3 100**	**2 800**
РАО 4 класса, м^3	**6 900**	**12 200**

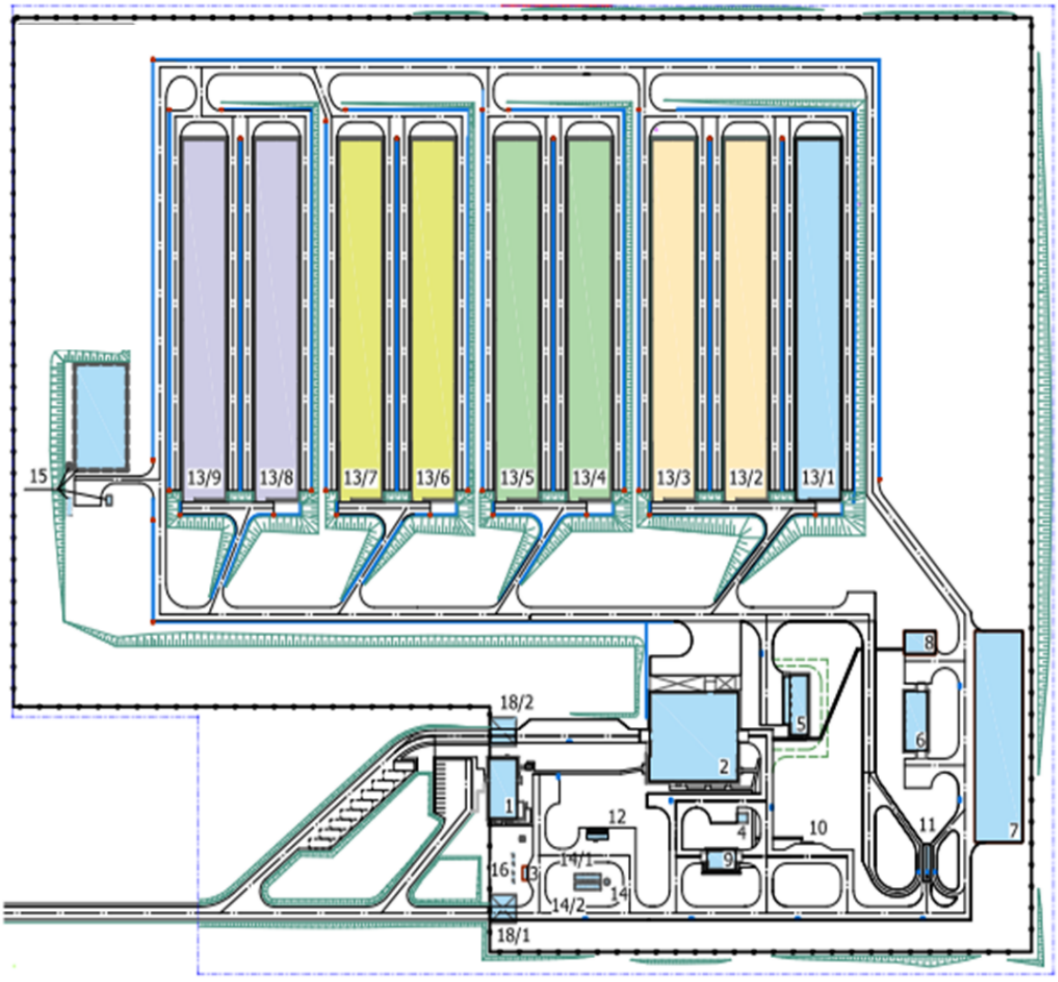


Рисунок 41 **Этапы строительства ППЗРО в г. Северск (завершено строительство модуля 13/1)**

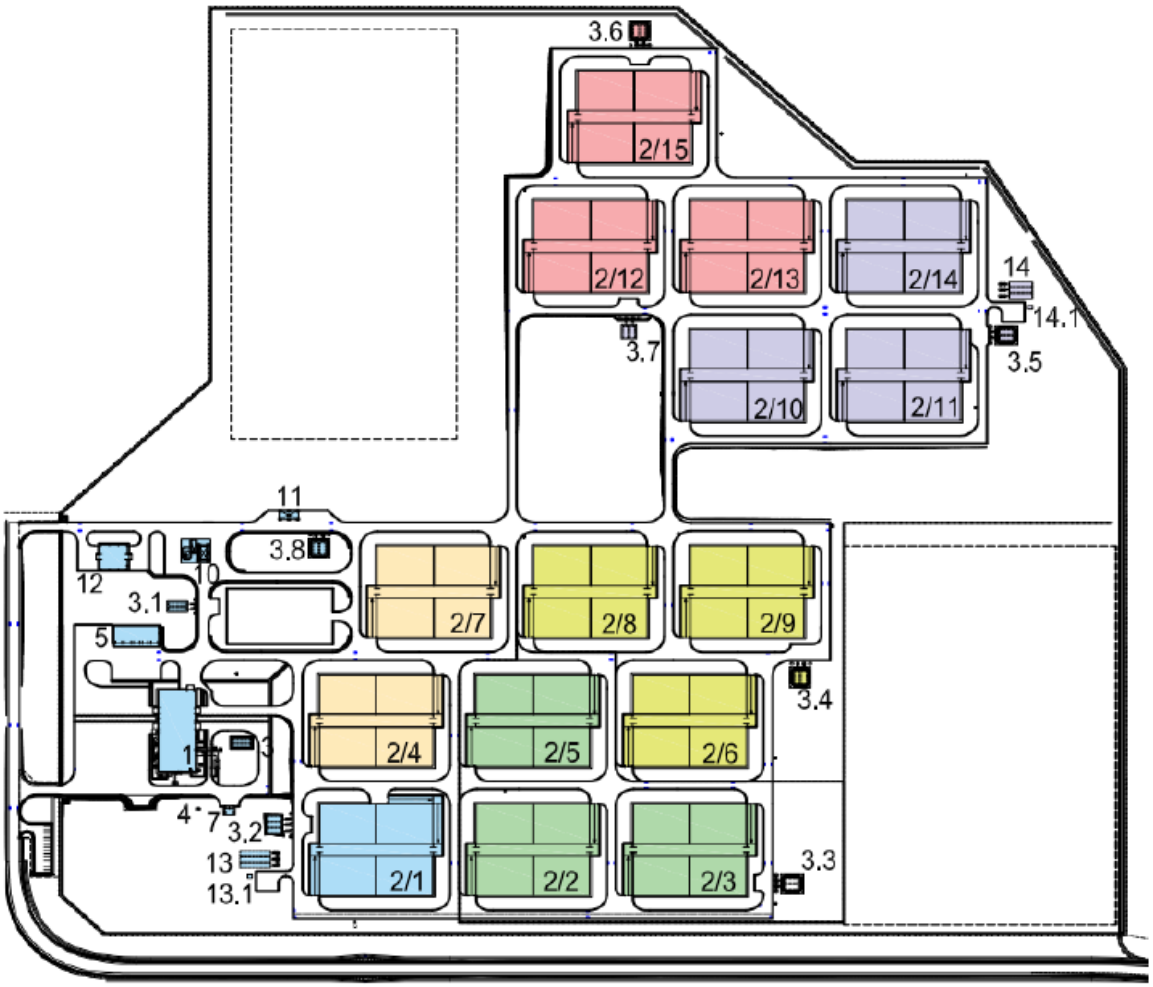


Рисунок 42 **Этапы строительства ППЗРО в г. Озерск (завершено строительство модуля 2/1)**

Сооружаемые хранилища, в соответствии с требованиями федеральных норм и правил, должны обеспечить безопасность РАО для населения и окружающей среды на весь период их потенциальной опасности. Для ППЗРО устанавливается период институционального контроля не менее 300 лет, что равно десяти периодам полураспада цезия-137 и стронция-90 — основных дозообразующих радионуклидов, содержащихся в РАО. В течение этого периода активность данных радионуклидов снизится за счёт естественного радиоактивного распада до минимально значимых уровней, а потенциальное воздействие для населения не превысит 10 мкЗв — величину, соблюдение которой не требует радиационного контроля.

Долговременная безопасность объекта для населения и окружающей среды от потенциального воздействия долгоживущих радионуклидов обеспечивается многобарьерной системой радиационной защиты (рисунок 43). Котлован модулей захоронения покрывается глиняным подстилающим экраном для обеспечения гидроизоляции и сорбции. Поверх экрана возводятся толстостенные монолитные модули из высокопрочного водостойкого бетона, формирующие ячейки для размещения контейнеров.

До передачи ФГУП «НО РАО» и размещения в ППЗРО радиоактивные отходы кондиционируют в соответствии с критериями приемлемости к захоронению и размещают в специализированную упаковку (например, металлические бочки), обеспечивающую

радиационную безопасность персонала при транспортировке и прочих работах при обращении с РАО. Затем упаковки с РАО помещают в сертифицированный железобетонный контейнер совместно с буферным материалом, обладающим высокими сорбционными свойствами (например, бентонитовой смесью), для повышения прочностных и изолирующих свойств контейнера. По сути своей это является первым барьером обеспечения радиационной безопасности.

Второй барьер — это глинистый порошок-буфер, которым заполняют все пустоты между контейнерами и стенами/перекрытием. Он рассчитан на сохранение своих водозащитных свойств в течение не менее 300 лет, а способности удерживать радионуклиды — на весь период потенциальной опасности отходов.

Третий барьер — это бетонные стены, основание и верхнее перекрытие самих ячеек, в которых стоят контейнеры. Бетон здесь выполняет две функции: держит всю конструкцию и воспринимает механические нагрузки, а также служит дополнительной плотной преградой для поступления воды и выхода радионуклидов. Используемый водостойкий бетон имеет срок службы не менее 100 лет в заданных условиях.

Пространство между модулями хранилища заполняется мощным слоем специальной глины (четвёртый слой). Проектом заложено, что глиняный замок выполняет свои изолирующие и удерживающие функции как минимум 500 лет.

После закрытия объекта сверху устанавливается многослойный экран (пятый барьер):

- глина и бентонитовые маты – для гидроизоляции;
- песок и гравий – для дренажной системы;
- верхний слой почвы с растительностью – для рекультивации и защиты от эрозии.

В совокупности предусмотренная проектом многобарьерная система безопасности и естественные гидрогеологические условия размещения позволяют минимизировать распространение радионуклидов и обеспечивают эксплуатационную и долговременную безопасность для населения, в соответствии с критериями приемлемости на весь период потенциальной опасности РАО.

Обоснование безопасности ППЗРО, представляемое эксплуатирующей организацией в Ростехнадзор для получения лицензии на размещение, сооружение, эксплуатацию и закрытие ППЗРО, должно основываться на результатах оценки безопасности, включающей прогнозный расчет оценки долговременной безопасности системы захоронения РАО после закрытия ППЗРО. Являясь составной частью отчета по обоснованию безопасности, прогнозный расчет и его результаты подлежат всесторонней экспертизе, основанной на проведении альтернативных расчетов.

С этой целью ФБУ «НТЦ ЯРБ» по поручению Ростехнадзора была выполнена разработка расчетных моделей ППЗРО, предназначенных для проведения независимых прогнозных расчетов при лицензировании ППЗРО, в рамках которой:

- разработаны расчетные модели ППЗРО и ПРОРАО, включая цифровые модели рельефа района и площадки размещения объектов, геологические модели района и площадки размещения объектов, геофильтрационные и геомиграционные модели, модели радиационного воздействия ППЗРО и ПРОРАО на население;
- проведены прогнозные расчеты миграции радионуклидов из систем захоронения или размещения РАО в окружающую среду.

Разработанные расчетные модели ППЗРО и ПРОРАО могут быть использованы при проведении независимых оценок долговременной безопасности ППЗРО и ПРОРАО, в том числе при лицензировании, а также в работе информационного аналитического центра Ростехнадзора для выполнения оперативных оценок возможных неблагоприятных радиационных последствий для населения в случае аварий на ППЗРО и ПРОРАО.

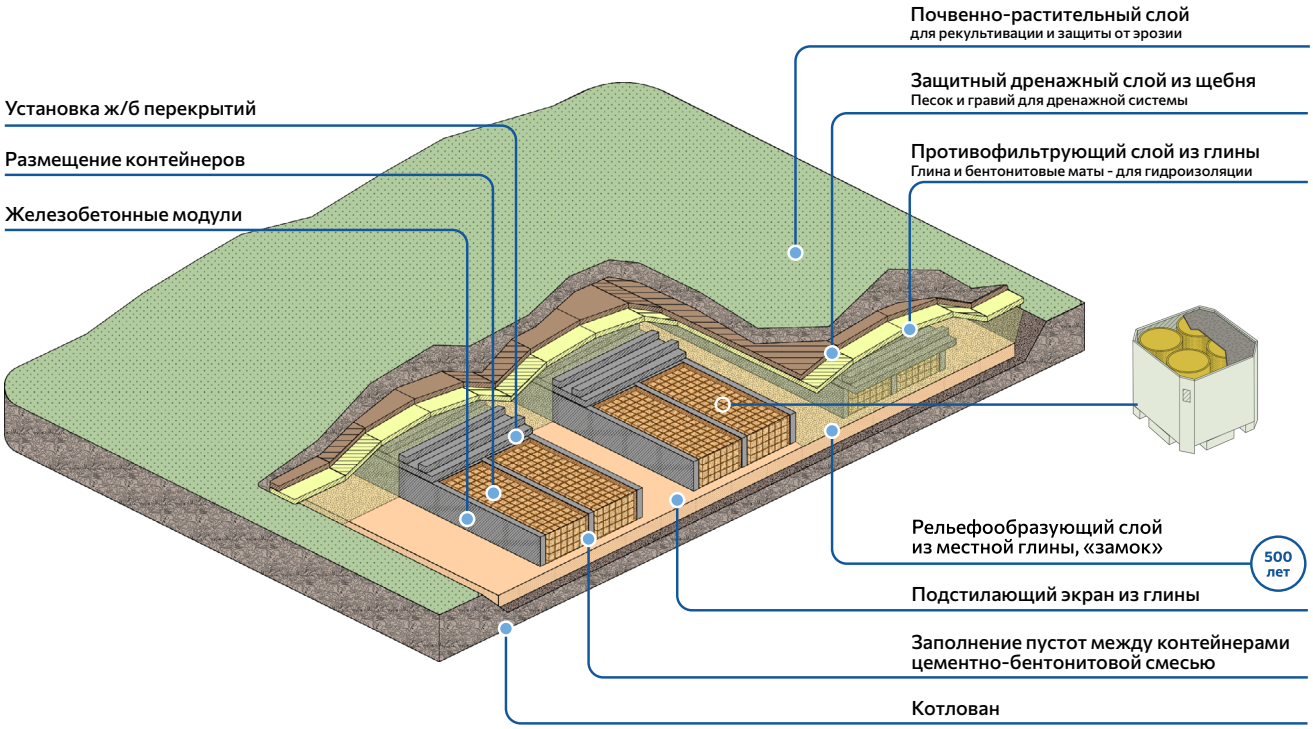


Рисунок 43 **Многобарьерная система радиационной защиты на примере ППЗРО в г. Северск**

Начало эксплуатации построенных модулей в г. Северск — 2026 г. До конца 2035 года суммарный объем вводимых мощностей по захоронению РАО в ППЗРО классов 3 и 4 в г. Озерске и г. Северске составит 367 тысяч м^3.

4.3 Создание инфраструктуры по переработке РАО

Обращение с высокоактивными РАО

На ФГУП «ПО «Маяк» введена в эксплуатацию установка по переводу высокоактивных отходов (ВАО) в безопасное состояние. Новая электропечь ЭП-250/6 предназначена для специальной обработки (остекловывания) РАО (рисунок 44).



Рисунок 44 **Ход строительства электропечи ЭП-250/6**

ВАО образуются при переработке ОЯТ атомных станций и хранятся в облицованных нержавеющей сталью бетонных емкостях цеха по обращению с РАО, а затем их переводят в более безопасное для окружающей среды состояние — стеклоподобную матрицу.

Остекловывание — это на сегодня самый эффективный и экологичный способ обращения с ВАО. Процесс включает их обезвоживание и смешивание со стеклообразующими добавками (например, фриттой, песком, глиной) и последующую плавку в электропечи при высоких температурах (около 1000 °С). В результате образуется жидкий расплав стекла, содержащий радиоактивные элементы. Расплав разливается в стальные бидоны, и он застывает. Полученный продукт обладает высокой химической и радиационной стойкостью. В таком безопасном виде ВАО десятки лет ждут окончательного захоронения.

Ростехнадзор проверил завершение опытной эксплуатации электропечи, включая комплексное опробование систем и элементов на модельном растворе, а также систему контроля радиационной безопасности. За год она сможет производить 400 тонн стекломассы.

Это уже шестая установка на комбинате, на «Маяке» отработали свой срок пять печей. Печи остекловывания не ремонтируют, это опасно для человека. Все оборудование находится в закрытом каньоне и нельзя заменить в них отдельный вышедший из строя узел или агрегат. Печь включают один раз и обычно эксплуатируют в непрерывном режиме пять-шесть лет.

В среднесрочной перспективе планируется построить еще две электропечи и малогабаритный плавитель собственного дизайна.

Для безопасного хранения остеклованных ВАО на комбинате строится специализированное хранилище вместимостью до 20 тысяч м^3. В 2024–2025 годах велись строительно-монтажные работы по устройству монолитных конструкций свайного фундамента и участков монолитных стен, наружных сетей спецканализации, конструкций каркаса вентцентра. Ввод в эксплуатацию объекта запланирован на 2029 год.

Реализация проектов повысит эффективность работы предприятия с ВАО — наиболее сложным и опасным типом радиоактивных материалов.

Обращение со средне- и низкоактивными РАО

Немаловажной остается задача создания региональных комплексов по переработке РАО классов 3 и 4 (КП РАО). В настоящее время ведется сооружение такого комплекса на площадке Сергиево-Посадского филиала ФГУП «РАДОН» (рисунок 45).

На конец 2025 года объект реализован на 85 %: основные строительно-монтажные работы — на финишной стадии, подведены инженерные сети, осуществляется монтаж технологического оборудования для осуществления производственных процессов по обращению с РАО.

Приоритетные задачи реализации объекта — создание безопасного, высокотехнологичного, максимально автоматизированного производства полного цикла по обращению с РАО.



Рисунок 45 **Промышленная площадка Сергиево-Посадского филиала ФГУП «РАДОН»**

Комплекс предназначен для переработки и кондиционирования РАО с получением их форм, пригодных для передачи на захоронение по современным требованиям. Технологическая схема процесса включает операции сортировки и фрагментации первичных форм РАО, их сжигания, прессования и/или иммобилизации в матричный материал с получением упаковок кондиционированных форм. После переработки и кондиционирования РАО значительно снижается потенциал к рассеянию радиоактивных загрязнений в геологической и биологической среде пункта захоронения РАО.

Производственная мощность комплекса должна обеспечивать переработку РАО классов 3 и 4 объемом до 3 тысяч м^3/год (1/10 часть этого объема относится к среднеактивным короткоживущим РАО) в целях их приведения к критериям приемлемости перед передачей на захоронение. Ввод в эксплуатацию предполагается осуществить в 2027 году.

Обращение с РАО на АЭС

На Курской АЭС завершены работы по строительству комплекса по переработке и кондиционированию РАО с целью приведения их к критериям приемлемости собственными силами, что позволило отказаться от договорных обязательств со сторонними организациями и сократить временные затраты протекания процессов. В период с 2021 по 2024 год выполнялись строительно-монтажные и пусконаладочные работы, проведена опытно-промышленная эксплуатация на чистых и проектных средах для ввода в эксплуатацию комплекса, включающего в себя 3 основных сооружения: комплекс по переработке жидких РАО (рисунок 46), комплекс по переработке твердых РАО (рисунок 47) и хранилище переработанных РАО (рисунок 48). В результате строительства введены в эксплуатацию вспомогательные системы для обеспечения работоспособности основного технологического оборудования комплекса: система электроснабжения, система радиационного контроля, системы вентиляции и кондиционирования, система связи, система освещения, система автоматической пожарной сигнализации и так далее, а так же новые технологические узлы и установки, позволяющие обеспечить сокращение времени на переработку РАО и обеспечить приведение РАО к критериям приемлемости для обеспечения безопасного захоронения, в том числе: установка ионоселективной очистки, узел цементирования, установка электрохимической и ультразвуковой дезактивации, установка пиролиза, установка дезактивации, установка концентрирования и упаривания, система контроля и отслеживания РАО.



Рисунок 46 **Комплекс по переработке жидких РАО**



Рисунок 47 **Комплекс по переработке твердых РАО**



Рисунок 48 **Хранилище переработанных РАО**

Созданный комплекс позволяет перерабатывать накопленные РАО, находящиеся в федеральной собственности, а также РАО, образующиеся в результате эксплуатации действующих энергоблоков и при выводе из эксплуатации остановленных энергоблоков.

Обращение с РАО атомного флота

В 2024 году в г. Северодвинск Архангельской области завершена реконструкция специализированного комплекса для обращения с накопленными радиоактивными отходами акционерного общества «Центр судоремонта «Звездочка» (3, 4, 5 и 6-й комплексы).

В процессе деятельности АО «ЦС «Звездочка» в области утилизации и ремонта атомных подводных лодок происходит постоянное образование радиоактивных отходов, требующих экологически безопасного обращения. Специфика деятельности АО «ЦС «Звездочка» — ремонт и утилизация атомных подводных лодок, переработка и временное хранение радиоактивных отходов, определяет виды и характер образования радиоактивных отходов: твердые, жидкие и газообразные радиоактивные отходы.

Для выполнения этих работ АО «ЦС «Звездочка» наряду с производственными и вспомогательными цехами и сооружениями, располагает специальными объектами, предназначенными для выполнения потенциально опасных и радиационно опасных работ. Большинство существующих объектов, включенных в систему обращения с РАО (объекты временного хранения и переработки), было построено в 60-х годах прошлого столетия и их состояние не отвечает современным требованиям нормативной документации в области радиационной безопасности.

Проектной документацией, разработанной и получившей положительное заключение государственной экспертизы в 2015 году, в рамках ФЦП ЯРБ-2 предусмотрена реконструкция и строительство следующих объектов спецкомплекса:

- 3-й пусковой комплекс – гараж-стоянка (строительство);
- 4-й пусковой комплекс – объект 153 (участок дезактивации);
- 5-й пусковой комплекс – объект 157 (спецпрачечная);
- 6-й пусковой комплекс – объект 159 (внешние ёмкости для хранения жидких РАО).

Целью реконструкции является приведение объектов обращения с РАО в соответствие с требованиями современных нормативных документов в области радиационной безопасности, обеспечение безопасных условий обращения с РАО на предприятии путем реконструкции специальных объектов, находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии, и минимизация влияния на окружающую среду специальных объектов, снижение выбросов с допустимо высокой активностью pH.

3-й пусковой комплекс

Строительство гаража-стоянки было начато в мае и завершено в декабре 2020 года. В I квартале 2021 года получено разрешение на ввод объекта в эксплуатацию (рисунок 49).



Рисунок 49 **Гараж-стоянка (общий вид и вид изнутри)**

4-й пусковой комплекс

Реконструкция объекта 153 (участок дезактивации) выполнялась в период 2013–2023 годов. В июне 2023 года подписан акт приемки законченного строительством объекта по форме КС 14 (рисунок 50).



Рисунок 50 **Объект 153 (до и после реконструкции)**

5-й пусковой комплекс

Реконструкция объекта 157 (спецпрачечная) выполнялась в период 2013–2022 годов. В декабре 2022 года подписан акт приемки законченного строительством объекта по форме КС-14 (рисунок 51).



Рисунок 51 **Объект 157 (до и после реконструкции)**

6-й пусковой комплекс

Реконструкция объекта 159 (внешние ёмкости для хранения жидких РАО) выполнялась в период 2019–2020 годов. В декабре 2020 года подписан акт приемки законченного строительством объекта по форме КС-14 (рисунок 52).



Рисунок 52 **Объект 159 (до и после реконструкции)**

Реализация данного мероприятия является эффективным направлением капитальных вложений, позволяющим привести специальные объекты обращения (переработка и временное хранение) с РАО, образующимися при выполнении производственной программы предприятия по ремонту и утилизации атомных подводных лодок, в соответствие требованиям современных нормативных документов в области радиационной безопасности и тем самым минимизировать их влияние на окружающую среду, снизить выбросы с допустимо высокой активностью РН.

4.4 Реконструкция пунктов хранения РАО

На территории ПАО «ППГХО» в Краснокаменске Забайкальского края в период 2021–2024 годов завершена реконструкция защитной дамбы и дополнительная укладка противофильтрационного экрана хранилища РАО «Среднее» (рисунок 53).

Цель проекта — увеличить проектную вместимость хранилища и улучшить защиту от проникновения подземных и поверхностных вод, уменьшить риски миграции радионуклидов в окружающую среду, повысить прочность дамбы и продлить срок эксплуатации объекта согласно экологическим и техническим нормам.

По итогам инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий выполнена оценка состояния дамбы с применением современных методик контроля прочности грунтов. Выполнен расчет устойчивости дамбы и конструкции противофильтрационного экрана из многослойных геосинтетических материалов с глинистыми и бетонными слоями. Спроектированы системы дренажа для снижения нагрузки на дамбу.

В рамках реконструкции выполнены земляные работы по укреплению дамбы (более 25 тысяч м^3), из геомембран и геотекстиля устроен противофильтрационный экран протяженностью около 1,5 км и площадью свыше 15 тысяч м^2, установлена новая система дренажа длиной свыше 800 метров. Восстановлена основная часть дамбы, основание усилено путем укладки новых слоев геомембраны и модификации состава насыпного материала. Были смонтированы новые фильтры и восстановлены ранее поврежденные дренажные системы.



Рисунок 53 **Хранилище РАО «Среднее»**

Максимальная несущая способность дамбы составила 150 кПа, что существенно превышает нормативы и учитывает сейсмические условия региона. Для мониторинга состояния дамбы внедрены датчики давления, влажности и перемещений.

Реализованная модернизация обеспечит повышенную экологическую безопасность объекта, сведя к минимуму вероятность попадания радионуклидов в почву и водоносные горизонты, обеспечивая дополнительную защиту от природных катастроф и поддерживая непрерывный контроль над состоянием дамбы и качеством подземных вод в санитарно-защитной зоне.

4.5 Консервация пунктов размещения особых РАО

Основной целью консервации пунктов размещения особых РАО является создание дополнительных барьеров безопасности, исключающих несанкционированный доступ в зону размещения отходов и препятствующих выходу радиоактивных веществ в окружающую среду за счет ветрового уноса с поверхности хранилищ или фильтрации в подземные воды.

В ходе реализации ФЦП ЯРБ и первого этапа ФЦП ЯРБ-2 полностью завершены работы по консервации бассейна В-9 на ФГУП «ПО «Маяк» и поверхностных хранилищ жидких РАО — бассейнов Б-1, Б-2 и Б-25 на площадке АО «СХК», созданных в 60-х годах для хранения отходов радиохимического и химико-металлургического заводов комбината.

Сегодня в АО «СХК» в активной фазе работы по консервации пульпохранилищ — ПХ-1 и ПХ-2 (рисунок 54).



Рисунок 54 **Пульпохранилище ПХ-1**

Пульпохранилища (ПХ) представляют собой сооружения типа бассейна-котлована. ПХ-1 введен в эксплуатацию в 1961 году, ПХ-2 спустя 10 лет в 1971 году. Полезная емкость составляет 100 и 210 тысяч м^3 соответственно, при этом максимальный уровень заполнения составляет 4 метра. ПХ использовались для приема и хранения жидких низкоактивных отходов, пульпы и других промышленных отходов очистных сооружений сублиматного завода и площадки 13 радиохимического завода АО «СХК».

Параметры	ПХ-1	ПХ-2
Размеры по дну	100 м × 200 м	230 м × 200 м
Размеры акватории в плане	120 м × 220 м	162 м × 232 м
Площадь акватории пульпохранилищ м^2 (уровень 99,3 м)	26400 м^2	60784 м^2
Рабочий объем	100000 м^3	210000 м^3
Абсолютная отметка дна	93,65 м	93,55 м
Абсолютная отметка верхнего края глиняного экрана	94,1 м	94,0 м
Абсолютная отметка среднего уровня декантата	99,3 м	99,2 м
Толщина глиняного экрана	0,45 м	0,45 м
Толщина слоя декантата (глубина)	4,0 м	4,0 м
Толщина защитного слоя	1,2 м	1,2 м
Абсолютная отметка замка глиняного экрана	100,10 м	100,10 м
Абсолютная отметка бермы	101,50 м	101,50 м
Абсолютная отметка обваловки	105,5 м	105,5 м
Уклон бортов чаши пульпохранилищ	1:2,5	1:4
Уклон бортов обваловки пульпохранилищ	1:1,5	1:1,5

Рисунок 55 **Параметры ПХ**

По результатам первичной регистрации пунктов хранения РАО (2014 год) суммарно в ПХ было размещено около 240 тысяч м^3 РАО. Ввиду того факта, что ПХ были не полностью заполнены, а также в процессе консервации будет удален декантат (жидкость, отделенная от осадка методом декантации), в ПХ разместили дополнительные РАО, обосновав при этом радиационную безопасность и химическую совместимость отходов.

На специально выделенной площадке радиохимического завода располагалось 100 единиц чернобыльской техники (общей массой до 600 тонн), которая использовалась при ликвидации последствий чернобыльской аварии (рисунок 56).



Рисунок 56 **Площадка размещения чернобыльской техники до и после выполнения работ**

На этой площадке вырублены загрязненные деревья и кустарники, с техники слита вся техническая жидкость и удалены неметаллические остатки. Все 100 единиц техники фрагментированы и в конечном итоге фрагменты размещены в ПХ-1 (рисунок 57).

Также на территории сублиматного завода располагался пункт хранения РАО, из которого были извлечены отходы в объеме около 750 м^3, размещены в первичную упаковку и транспортированы в ПХ-2 (рисунок 58).

В 2022–2023 годах завершен подготовительный этап консервации пульпохранилищ:

- расширена существующая перегрузочная площадка и устроена автомобильная дорога до ПХ;
- демонтировано оборудование гидроразрыва пласта;
- смонтированы временные электросети и насосная станция для откачки декантата;
- вырублена растительность на обваловке хранилищ;
- сооружены контрольно-наблюдательные скважины (глубиной 15,5 и 45 метров) между ПХ по движению грунтовых вод;
- доставлен щебень для дренажного слоя, песок и песчано-гравийная смесь для засыпки акватории, глина для создания верхнего экрана хранилища (завоз материалов, по мере расходования, планируется продолжать до конца 2026 года).



Рисунок 57 Размещение фрагментов чернобыльской техники в ПХ-1



Рисунок 58 Извлечение РАО из пункта хранения и размещение в ПХ-2



Рисунок 59 **Вырубка растительности и устройство наблюдательных скважин**

Дальнейшие работы велись на ПХ-1. Проведена разборка обваловки с созданием прибрежных дамб, выполнена засыпка междамбового пространства с планировкой поверхности пульпохранилища ПХ-1 до проектной отметки 101,1 м, начаты работы по созданию покрывающего экрана.

Выполнен монтаж дренажных аппаратов и произведен монтаж технологического трубопровода от дренажных аппаратов до насосной станции, проведен монтаж системы пожаротушения и устройства сетей дождевой канализации.



Рисунок 60 **Процесс засыпки пункта хранения РАО**

В ближайшие два года планируется завершить работы по устройству покрывающего экрана из щебня и песка и покрыть акваторию ПХ-1 глиняным экраном, поверх которого разместить покровной экран с растительным слоем земли и засеять травой. Аналогичные работы по консервации ПХ-2 планируется начать в 2027 году.

4.6 Безопасное извлечение из пунктов хранения и передача на захоронение удаляемых РАО и обращение с металлическими отходами

Выполнение работ в этом направлении, как правило, предусматривает извлечение из хранилищ накопленных РАО, их переработку, кондиционирование (приведение к критериям приемлемости для захоронения), транспортировку и передачу на захоронение.

На втором этапе реализации Программы работы проводились в филиалах АО Концерн «Росэнергоатом», ФГУП «РАДОН», АО «СХК», АО «УЭХК», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», а также переданы на захоронение РАО, образованные от вывода из эксплуатации ЯРОО.

В Ленинградском отделении ФГУП «РАДОН» произведено извлечение твердых РАО из зданий № 12А и 12В. В хранилище были размещены очень низкоактивные, низкоактивные и среднеактивные отходы в нестандартных металлических упаковках, представляющих цементный компаунд, в железобетонных контейнерах, навалом в несортированного виде с наличием мелких и длинномерных, мягких и твердых материалов разного состава и морфологии (рисунок 61). Отходы состояли в основном из стройматериалов, строительного и прочего мусора, а также черных металлов и загрязненного грунта.



Рисунок 61 **Общий вид хранения твердых РАО, размещенных навалом**

На начальном этапе был организован монтаж основного и вспомогательного оборудования участков извлечения, сортировки и упаковки РАО. Для обеспечения радиационной безопасности была установлена биологическая защита из переносных конструкций в виде защитных экранов (рисунок 62).

В дальнейшем были последовательно демонтированы плиты перекрытия отсека хранения. С помощью дистанционно управляемых демонтажных роботов был демонтирован цементный компаунд, локализующий часть наваленных отходов.



Рисунок 62 **Подготовка помещения для обращения с РАО**

В результате работ было извлечено 600 м^3 твердых радиоактивных отходов, которые были отсортированы и разделены в зависимости от морфологического состава и дальнейшего способа переработки. Сортировка отходов позволила разделить извлеченные радиоактивные отходы по морфологическому составу на стройматериалы, строительный и прочий мусор для переупаковки в сертифицированный контейнер типа КМ3, и спецодежду, средства индивидуальной защиты, ветошь и прочее — для направления на установку сжигания (рисунок 63).



Рисунок 63 **Установка сжигания РАО**

Объем переупакованных РАО составил 470,3 м^3, отходы размещены в 130 контейнерах типа КМЗ-Радон, паспортизированы и приведены к критериям приемлемости для захоронения. Упаковки, внешним объемом около 500 м^3, размещены на временное хранение в здании хранилища твердых РАО с целью последующей передачи на захоронение.

В городе Саров Нижегородской области на территории ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» завершен проект по извлечению РАО из хранилища № 1/14А и сооружений № 2/14, № 3/14.

Хранилище и сооружения расположены на территории пункта долговременного хранения РАО №14А. Введенное в 1984 году хранилище № 1/14А представляло собой две бетонные траншеи и к концу 2012 года было заполнено на 100 %, объем накопленных отходов составлял около 1,6 тысяч м^3. Сооружения № 2/14, № 3/14 были введены в 1981 году и также представляли из себя бетонные траншеи. В траншеях размещались навалом несортированные ТРО различного вида — СИЗ, ветошь, фильтры, оборудование, строительный мусор, металлические контейнеры.

Для безопасного вскрытия хранилищ и обращения с РАО на объекте изготовлены и поставлены каркасно-тентовые укрытия, возведен временный ангар для хранения упаковок РАО, выполнено устройство подъездных путей к местам выполнения работ.



Рисунок 64 **Смонтированное каркасно-тентовое укрытие и ангар для хранения упаковок РАО**

В период 2022–2023 годы были выполнены работы по извлечению РАО, их сортировке и кондиционированию, приведению к критериям приемлемости для захоронения (рисунок 65). Всего извлечено 2,2 тысяч м^3 РАО, все отходы были помещены в специализированные контейнеры и размещены во временном ангаре. После извлечения накопленных отходов были дезактивированы выявленные участки радиоактивного загрязнения и проведено контрольное обследование внутренних поверхностей хранилища 1/14А и сооружений 2/14, 3/14, которое показало отсутствие радиационного загрязнения выше проектных норм.

В Новоуральске на территории АО «УЭХК» ведутся работы по удалению из пункта хранения «Могильник № 1» РАО для целей дальнейшего вывода из эксплуатации. Вместимость хранилища составляет около 4 тысяч м^3. В период эксплуатации с 1951 по 1964 год «Могильник № 1» предназначался для размещения твердых РАО комбината классов 3 и 4 и был заполнен на 90 %, впоследствии пункт хранения был законсервирован и закрыт грунтом.

С целью обеспечения радиационной безопасности при извлечении и обращении с РАО над пунктом хранения был установлен быстровозводимый каркасно-тентовый ангар с комплексом приточно-вытяжной вентиляции, освещением и саншлюзом.

К концу 2025 года извлечено 1560 м^3 РАО (рисунок 66). Извлеченные РАО кондиционированы, приведены в соответствие критериям приемлемости для захоронения и упакованы в сертифицированные транспортные контейнеры типа «НЗК-РАДОН» и «КМЗ-М», выполнена паспортизация упаковок РАО. Суммарный объем РАО, извлеченный из «Могильника № 1» и переданный на захоронение, составил свыше 2000 м^3 по внешнему объему упаковок. Работы по извлечению оставшегося объема отходов планируется завершить к концу 2027 года.

В Саратовской области на площадке Балаковской АЭС завершен технически сложный проект по подготовке к захоронению крупногабаритных накопленных РАО — четырех законсервированных парогенераторов ПГВ-1000 (рисунок 67).



Рисунок 65 **Извлечение РАО из хранилища 14А**



Рисунок 66 **Извлечение твердых РАО из пункта хранения «Могильник № 1»**



Рисунок 67 **Парогенератор типа ПГВ-1000**

Для подготовки оборудования к транспортировке до места переработки — Регионального центра в Сайда-Губе — были демонтированы конструкции хранилища. При перемещении парогенераторов использовались железнодорожные тележки, самоходные модульные транспортеры и водный транспорт (рисунок 68).



Рисунок 68 **Транспортировка парогенераторов водным транспортом**

Переработка парогенераторов выполнена путем фрагментации и дезактивации, полученные РАО размещены в контейнеры типа КРАД-3,0, кондиционированы, паспортизированы и размещены на временное хранение перед передачей на захоронение. Фрагменты парогенераторов, выведенные из-под радиационного контроля (соответствующие критериям неограниченного использования), подготовлены для передачи в металлолом.

В ЗАТО Северск в АО «СХК» при выполнении работ по ликвидации диффузионного оборудования, блоков газовых центрифуг старых поколений, а также при выполнении работ по переводу в ядерно безопасное состояние и подготовке к выводу из эксплуатации производства облученных стандартных урановых блоков на площадках комбината было накоплено около 2,8 тысяч тонн оборудования, загрязненного радиоактивными веществами (рисунок 69).



Рисунок 69 **Демонтированное и частично фрагментированное оборудование, размещенное на площадке**

Для улучшения радиационной обстановки и безопасности на территории предприятия с 2021 года были начаты работы по сбору, фрагментации и дезактивации металлических отходов, загрязненных радиоактивными веществами.

Для обращения с металлическими отходами, загрязненными радиоактивными веществами (МОЗРВ) в корпусе 8 завода разделения изотопов была организована площадка для проведения разгрузочно-погрузочных работ, фрагментации, радиационного контроля и сортировки предварительно очищенных от земли, песка и листьев металлических отходов, поступающих с площадок комбината. Фрагментация осуществлялась при помощи газовой и плазменной резки металлических изделий до габаритов не более 1 метра (рисунок 70).



Рисунок 70 **Фрагментация МОЗРВ в корпусе 8**

Полученные фрагменты после проведения радиационного контроля транспортировались на жидкостную химическую дезактивацию.

За период 2021–2024 годы было дезактивировано 2,6 тыс. тонн.

В результате дезактивации получено около 1,8 тысяч тонн чистого металлолома, который размещен на территории АО «СХК» для последующей реализации.

Все работы выполнялись в строгом соответствии с требованиями радиационной и экологической безопасности, что обеспечило минимизацию воздействия на окружающую среду, персонал и население. Площадки размещения МОЗРВ приведены в радиационно безопасное состояние, что обеспечило улучшение радиационной обстановки на территории предприятия (рисунок 71).



Рисунок 71 **Итоговое состояние одной из площадок**

В результате эксплуатации, ремонта и утилизации атомных подводных лодок, судов атомно-технологического обслуживания, надводных кораблей с ядерно-энергетическими установками в головной организации АО «ЦС «Звездочка» и филиале СРЗ «Нерпа» АО «ЦС «Звездочка» до 2011 года накоплено значительное количество твердых и жидких РАО, находящихся в федеральной собственности. На территории АО «ЦС «Звездочка» были размещены более 3000 м^3 твердых РАО (в том числе 881,32 м^3 в аварийном хранилище — объект 162) и 118,3 м^3 жидких РАО (СРЗ «Нерпа»).

Твердые РАО размещались в несертифицированных контейнерах на открытой площадке хранения, ЖРО — в плавучих ёмкостях. За время эксплуатации контейнеры и ёмкости пришли в неудовлетворительное или аварийное состояние. Для обеспечения радиационной безопасности требовалось выполнить работы по вывозу, переработке и кондиционированию указанных РАО с последующей передачей на захоронение.

Объект 162 головной организации находится в эксплуатации с 1963 года, представляет собой здание из отдельных железобетонных камер (отсеков). В процессе эксплуатации объекта 162 твердые РАО складировались в неупакованном виде, навалом. Объект был загружен практически полностью в 1968 году, верхнее перекрытие заасфальтировано.

В рамках реализации второго этапа ФЦП ЯРБ-2 Минпромторгом России выполнены подготовительные работы по техническому освидетельствованию, ремонту робототехники и приборов радиационного контроля, работы по извлечению и сортировке ТРО, находящихся в объекте 162.

В ходе выполнения работ:

- вывезены и приведены в безопасное состояние федеральные РАО, находящиеся в филиале СРЗ «Нерпа» в объеме 118,3 м^3 жидких РАО и 863,1 м^3 твердых РАО;
- вывезены твердые РАО, находящиеся в головной организации в объеме 108 м^3 и приведены в безопасное состояние федеральные РАО в объеме 90 м^3;
- извлечены из аварийного хранилища (объект 162) федеральные РАО в объеме 130 м^3, переработаны, кондиционированы и переданы на захоронение.

В результате уменьшен риск попадания радионуклидов в окружающую среду с территории СРЗ «Нерпа» г. Снежногорск, Мурманской области и головной организации АО «ЦС «Звездочка» г. Северодвинск Архангельской области.



Рисунок 72 **Объект 162**

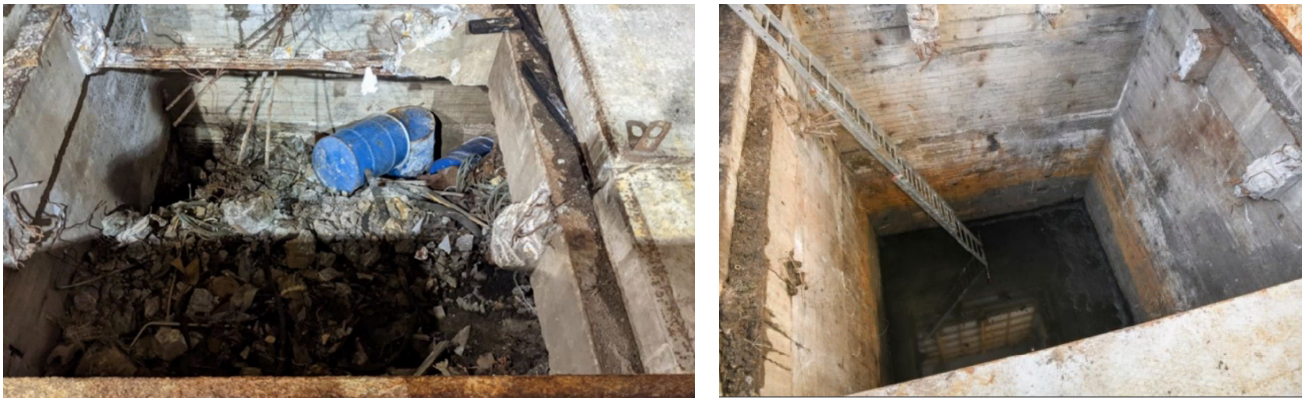


Рисунок 73 **Объект 162 (отсек 6/2) до и после выгрузки РАО**



Рисунок 74 **Хранение РАО до и после переработки и кондиционирования**

5. ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ (ЛИКВИДАЦИЯ) И КОНСЕРВАЦИЯ ЯРОО

5 ВЫВОД ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ (ЛИКВИДАЦИЯ) И КОНСЕРВАЦИЯ ЯРОО

По итогам второго этапа Программы:

- **выведены из эксплуатации ПУГР АД и АДЭ-1 ФГУП «ГХК», продолжились работы по выводу из эксплуатации ПУГР АДЭ-4 и АДЭ-5 АО «ОДЦ УГР», начаты работы по ВЭ ПУГР И-1 АО «ОДЦ УГР» и ПУГР АДЭ-2 ФГУП «ГХК»**
- **ликвидированы установка У-5, участок радиоактивного загрязнения № 9 и исследовательский корпус «Ж» АО «ВНИИНМ»**
- **завершены работы по выводу из эксплуатации зданий №№ 802, 804 АО «АЭХК»;**
- **ликвидировано основное здание радиохимического производства на территории Московского филиала ФГУП «РАДОН» – корпус № 8**
- **суммарно выведено из эксплуатации 29 ядерно и радиационно опасных объектов и реабилитировано 427 тысяч м^2 радиационно загрязненных территорий**

Вывод из эксплуатации — завершающая стадия жизненного цикла ЯРОО, которая следует за прекращением его деятельности по проектному назначению и нацелена на достижение оптимального конечного состояния объекта в целях полного или частичного его освобождения из-под регулирующего контроля (рисунок 75).

В соответствии с современными требованиями планирование вывода из эксплуатации должно начинаться на этапе проектирования объекта. Для объектов ядерного наследия этот процесс изначально не был предусмотрен, поэтому в настоящее время необходима тщательная проработка оптимальных технических решений. В рамках второго этапа Программы работы по данному направлению велись на 50 объектах разного проектного назначения.

В целях оптимизации процессов по выводу из эксплуатации в 2018 году отраслевым оператором по обращению с объектами ядерного наследия назначено ФГУП «РАДОН», которое реализует ряд пилотных проектов по выводу из эксплуатации площадок.

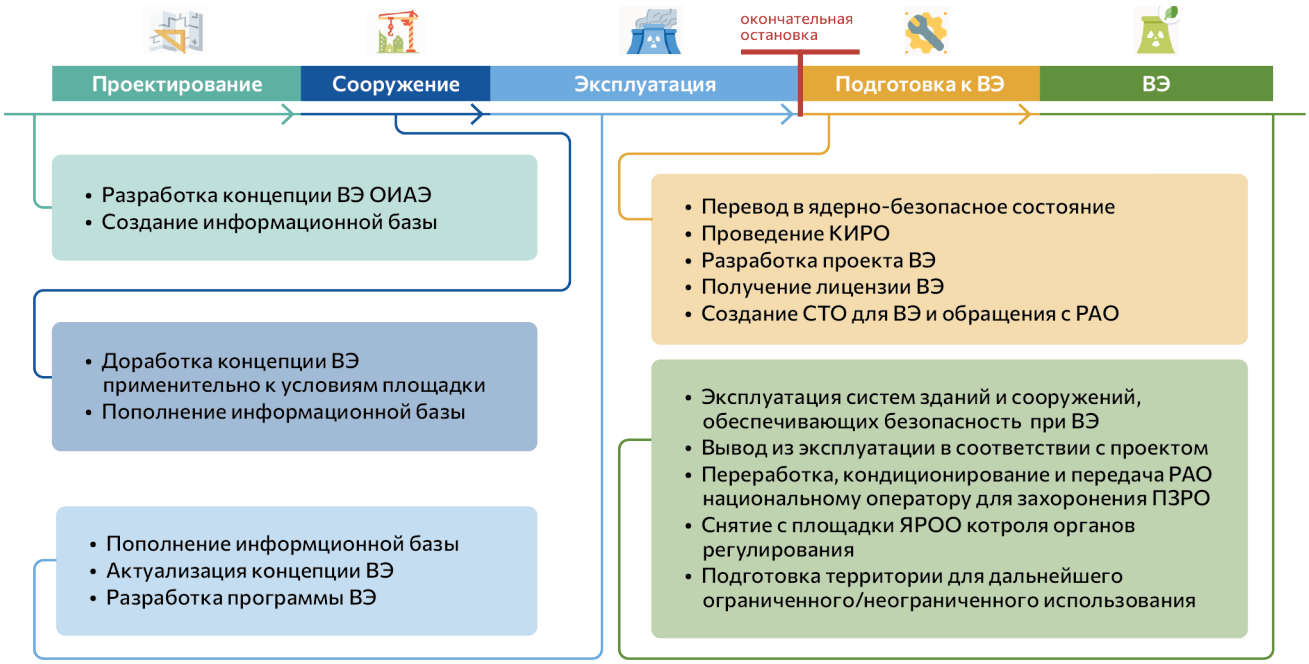


Рисунок 75 **Стадии жизненного цикла ЯРОО**

5.1 Вывод из эксплуатации энергоблоков АЭС

В 2017 году АО «Концерн Росэнергоатом» принял решение об изменении концепции демонтажа АЭС. Если ранее использовался принцип «отложенного демонтажа» (энергоблоки останавливаются, но не демонтируются, остаются под наблюдением на несколько десятков лет, соответственно ликвидация объекта длится вплоть до 70 лет), то приоритетом теперь становится «немедленный демонтаж».

Принцип «немедленного демонтажа» подразумевает около 5 лет подготовки к ликвидации объекта (первая стадия снятия АЭС с эксплуатации) и примерно 15 лет самого процесса ликвидации. Эта практика позволяет экономить на ликвидации энергоблоков АЭС до 20 % по сравнению с «отложенным демонтажем». Такая стратегия позволяет использовать ресурсы оставшегося оборудования и конструкций энергоблоков, которые остановлены.

Пилотным проектом по «немедленному демонтажу» выбран блок №3 Нововоронежской АЭС (пилот должен закончиться в 2035 году). Также по этому принципу будут выводиться из эксплуатации энергоблоки Ленинградской и Белоярской АЭС.

В 2025 году на этапе вывода эксплуатации находились энергоблоки № 1, 2 Нововоронежской АЭС и 6 энергоблоков находились в режиме окончательного останова для проведения подготовительных работ (рисунок 76). До 2030 года планируются к окончательному останову еще 9 энергоблоков АЭС.

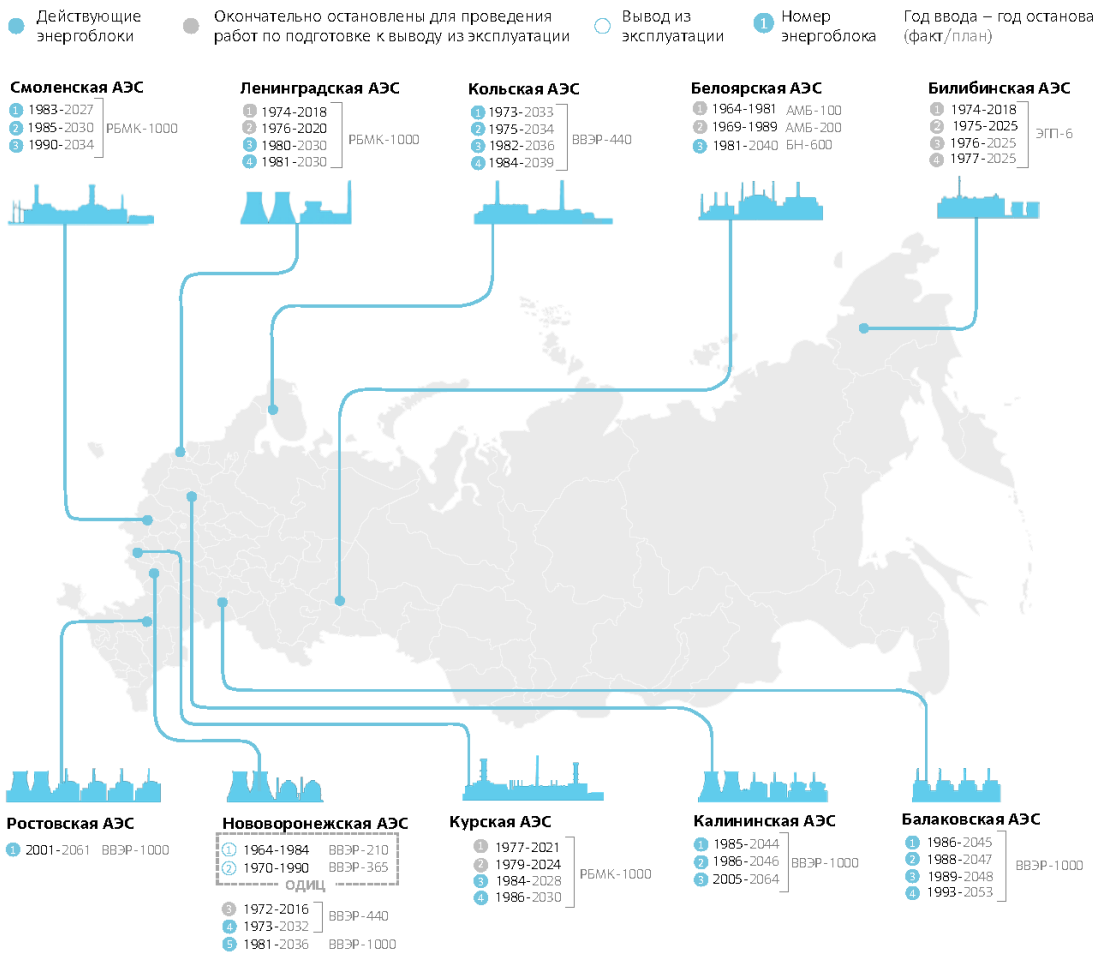


Рисунок 76 **Блоки АЭС, относящиеся к ядерному наследию**

Нововоронежская АЭС

Энергоблоки №№ 1, 2 Нововоронежской АЭС (НВАЭС) с реакторами типа ВВЭР-210 и ВВЭР-365 эксплуатировались в 1964–1984 и 1969–1990 годах соответственно. С энергоблоков вывезено ядерное топливо, и они переведены в ядерно безопасное состояние. В рамках ФЦП ЯРБ был разработан проект вывода из эксплуатации. Начиная с 2013 года, при НВАЭС функционирует филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Опытно-демонстрационный инженерный центр по выводу из эксплуатации» (ОДИЦ), являющийся главным исполнителем работ.

Получены лицензии на вывод из эксплуатации блоков № 1 и № 2 Нововоронежской АЭС, проведены опытно-технологические работы по демонтажу тепломеханического оборудования реакторного и турбинного отделения энергоблоков №№ 1, 2. Перепрофилирован машинный зал под хранилище. Демонтирован деаэратор № 4 с оборудованием, трубопроводами и металлоконструкциями. Выполнен демонтаж трансформаторов. Осуществлено перепрофилирование бассейна выдержки БВ-1 под хранилище контейнеров с РАО и построено хранилище ангарного типа. Так как используемая на НВАЭС выпарная установка устарела морально и физически, была создана установка переработки ЖРО. Создан опытный макет информационной системы вывода из эксплуатации энергоблоков и введены в эксплуатацию участок по фрагментации и обращению с демонтированным кабелем и участок робототехнических средств.

В рамках подготовки к выводу из эксплуатации энергоблока № 3 (сроки эксплуатации с 1971 по 2016 год) осуществлен вывоз ОЯТ из бассейнов выдержки и вывоз металлических РАО на переработку. На объекте предполагается отработать технологии, апробированные на энергоблоках №№ 1, 2.

Белоярская АЭС

Энергоблоки с водографитовыми канальными реакторами АМБ-100 и АМБ-200 на Белоярской АЭС эксплуатировались в 1964–1981 и 1967–1989 годы соответственно. Энергоблоки были остановлены в связи с выработкой ресурса и находятся в процессе подготовки к выводу из эксплуатации. ОЯТ выгружено из реакторов и хранится в приреакторных бассейнах выдержки, с 2016–2019 года завершился этап вывоза ОЯТ АМБ на ФГУП «ПО «Маяк», в результате которого был освобожден один из бассейнов выдержки для проведения его ремонта. Основные технологические системы, работа которых не требуется по условиям безопасности, остановлены. В работе находятся только вентиляционные системы и системы радиационного контроля.

В рамках второго этапа реализации Программы на АЭС выполнены регламентные работы по обеспечению условий безопасной эксплуатации энергоблоков, проведена реконструкция помещений главного корпуса энергоблоков и железнодорожных путей, разработаны и утверждены проектно-сметная и конструкторская документация комплекса переработки ЖРО, модернизированы информационные системы вывода из эксплуатации. Поставлено вспомогательное оборудование 4 класса безопасности комплекса переработки твердых РАО для целей обращения с ними при подготовке к выводу из эксплуатации энергоблоков №№ 1, 2. Разработана технология кондиционирования РАО, содержащих просыпи ОЯТ, образующиеся при выполнении работ по подготовке к выводу из эксплуатации. Начаты работы по удалению РАО и просыпей ОЯТ из монжусов дренажа кладки аппаратов. Для восстановления работоспособности облицовки бассейнов выдержки БВ-1 и БВ-2 первой очереди Белоярской АЭС с целью обеспечения безопасного хранения ОТВС АМБ в бассейнах выдержки проведены работы по восстановлению работоспособности облицовки БВ-2 и вводу его в эксплуатацию, перемещены кассеты, корзины и пеналы с ОТВС и длинномерными изделиями из БВ-1 в БВ-2. В ближайшей перспективе для обеспечения безопасного хранения ОТВС АМБ в бассейнах выдержки планируется продолжение работ в части опорожнения БВ-1, сбора и удаления донных отложений, проведения обследования, оценке технического состояния и обоснование остаточного ресурса облицовки БВ-1, после которого планируется выполнить работы по повышению надежности облицовки дна бассейна выдержки.

Билибинская АЭС

На Билибинской АЭС расположены энергоблоки, запущенные в 80-е годы прошлого столетия. Станция является основным источником электроэнергии в изолированной Чукотско-Билибинской системе, которая расположена в отдаленном, малонаселенном районе страны в зоне заполярной тундры с вечномерзлой почвой. Данный район не имеет стабильных транспортных коммуникаций — все перевозки осуществляются морским транспортом в период навигации. В рамках ФЦП ЯРБ была создана информационная система по выводу из эксплуатации, проведено КИРО энергоблоков, разработана концепция вывода из эксплуатации энергоблоков №№ 1–4, а также технология и основное оборудование комплекса разделки и пеналирования для накопленного ОЯТ.

В 2019 году состоялся окончательный останов энергоблока № 1. В 2020 году Ростехнадзор выдал Билибинской АЭС лицензию на продленную эксплуатацию энергоблоков № 2 и 3 до конца 2025 года. 30 декабря 2025 года был остановлен последний энергоблок Билибинской АЭС - энергоблок № 4.

В рамках второго этапа реализации Программы удалено ОЯТ из активной зоны реактора энергоблока № 1. Завершено сооружение и осуществлен ввод в эксплуатацию дизель-генераторной станции системы автономного энергоснабжения мощностью 8,9 МВт, блочно-модульной котельной и базового склада; ведутся регламентные работы персоналом Билибинской АЭС по эксплуатации систем, оборудования и по безопасному содержанию блоков Билибинской АЭС. В рамках подготовки к выводу из эксплуатации блоков Билибинской АЭС обеспечено участие и сопровождение общественных обсуждений материалов оценки воздействия на окружающую среду и материалов обоснования лицензии, а также выполнен анализ теплогидравлических параметров бассейнов выдержки энергоблоков №№ 1–4. Подготовлена рабочая документация на модернизацию внутриплощадной теплосети. Продолжаются работы по модернизации системы обращения с ОЯТ в части принятия основных технологических решений для обеспечения вывоза ОТВС на ФГУП ПО «Маяк» и системы обращения с РАО. В планах выполнить демонтаж выведенных в соответствии с эксплуатационной конфигурацией систем и элементов в целях освобождения мест для размещения участков по обращению с РАО, снижения пожарной нагрузки, формирования инфраструктуры по обращению с РАО.



Рисунок 77 **Билибинская АЭС**

Курская АЭС

Проведено комплексное обследование текущего состояния энергоблоков №№ 1 и 2, остановленных соответственно в декабре 2021 года и в январе 2024 года в режиме без генерации. Разработаны проектная и рабочая документации на изменение конфигурации комплексной системы контроля управления и защиты при выполнении работ по выгрузке ОЯТ из активной зоны. Проведен комплекс работ по определению технического состояния, оценке и обоснованию остаточного ресурса и продления срока эксплуатации автоматизированной системы радиационного контроля. Разработана и утверждена концепция вывода из эксплуатации энергоблоков №№ 1–4. Ведутся регламентные работы по эксплуатации систем, оборудования и по безопасному содержанию блоков Курской АЭС, включая выполнение регламентных работ по выгрузке ядерного топлива, ремонту и техническому обслуживанию оборудования, текущей эксплуатации систем, необходимых для поддержания в безопасном состоянии остановленных энергоблоков.

Ленинградская АЭС

Проведены работы по созданию модуля «Картографирование и визуализация радиационной обстановки 1-й очереди ЛАЭС». Выполнена оценка технического состояния, остаточного ресурса и обоснование срока службы элементов реакторной установки РБМК-1000. Разработаны: транспортно-технологическая схема удаления РАО из центрального зала энергоблока № 1, остановленного в 2018 году; программа управления ресурсными характеристиками элементов реакторного отделения, оборудования, трубопроводов, зданий и сооружений энергоблока № 1; обоснование безопасности и программы выгрузки активной зоны реактора энергоблока № 2, остановленного в 2020 году. Проведено комплексное обследование и поверка установки измерения выгорания ядерного топлива ОТВС РБМК-1000. Осуществляются регламентные работы по эксплуатации систем, оборудования и работ по содержанию блоков Ленинградской АЭС в безопасном состоянии.

5.2 Вывод из эксплуатации ПУГР

Промышленный уран-графитовый реактор (ПУГР) — это уникальное сооружение, имеющее подземную часть до отметок минус 40–60 м (ФГУП «ПО «Маяк» и АО «ОДЦ УГР») или полностью расположенное в горных выработках (ФГУП «ГХК») (рисунок 78). Вывод из эксплуатации ПУГР ФГУП «ГХК» и АО «ОДЦ УГР» предусматривается по варианту «захоронение на месте» и включает в себя создание необходимых объектов инфраструктуры, извлечение и переработку удаляемых РАО, создание барьеров безопасности вокруг подземной части реактора (локализация графитовой кладки), демонтаж наземных строительных конструкций и части подземных, реабилитацию территорий.

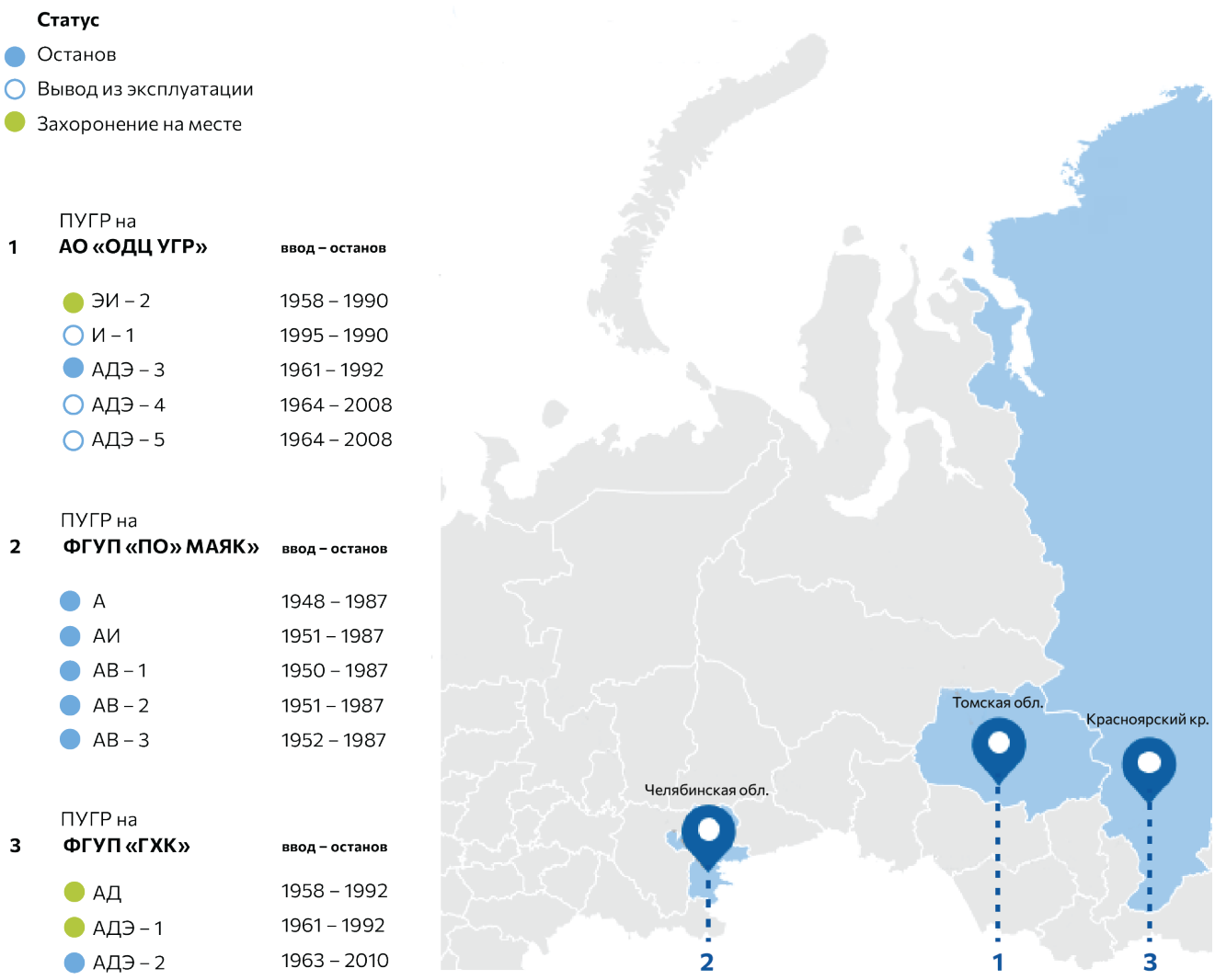


Рисунок 78 **ПУГР на территории Российской Федерации**

ФГУП «ГХК»

ПУГР АД и АДЭ-1 — одноцелевые проточные реакторы, которые предназначались для наработки оружейного плутония. Реактор АДЭ-2 — двухцелевой, энергетический. Помимо наработки плутония, у него была ещё одна, «гражданская» функция: обеспечивать теплом и электроэнергией город Железногорск. В 2023 году завершились работы по выводу из эксплуатации двух ПУГР — АД и АДЭ-1. Вывод из эксплуатации ПУГР АДЭ-2 начат в 2024 году. После останова всех трех ПУГР из активной зоны реакторов было выгружено и переработано все ядерное топливо, таким образом объекты были приведены в ядерно безопасное состояние.

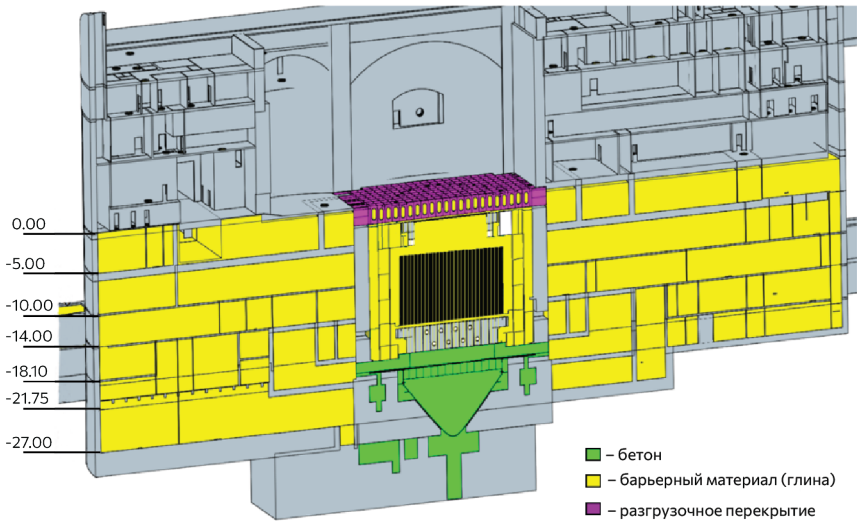
Применяемая технология вывода из эксплуатации путем «захоронения на месте» была запатентована специалистами ФГУП «ГХК» в 2010 году. Эта технология предполагает создание необходимой инфраструктуры и поэтапное заполнение барьерным материалом как пространства и схем самого реактора, так и прилегающих внереакторных помещений. Локализация радиоактивно загрязненных элементов оборудования, систем и конструкций реактора обеспечивает радиационную безопасность персонала, населения и окружающей среды на период не менее 10 000 лет. Прогнозируемая доза

облучения населения, проживающего в основании склона горы и занимающегося сельскохозяйственной деятельностью, не превысит 0,01 мЗв/год, что на порядок ниже установленных пределов (0,1 мЗв/год).

Выбранный вариант вывода из эксплуатации ПУГР обусловлен несколькими факторами:

- наличием естественного барьера безопасности (горного массива) и возможностью создания дополнительных барьеров безопасности;
- минимальным объемом демонтажных работ;
- отсутствием необходимости строительства новых хранилищ радиоактивных отходов.

Подготовка к выводу из эксплуатации ПУГР АД и АДЭ-1 была начата еще в рамках ФЦП ЯРБ. Практические работы стартовали в 2015 году с бетонирования низа реактора и заполнения прореакторных помещений ПУГР АД, а в 2020 году — по той же схеме начали бетонирование реактора АДЭ-1. Суммарный объем бетона, подаваемого на один реактор, составил 8,7 тысяч м^3, а глины — более 37 тысяч м^3 (рисунок 79).



ВСЕГО	
8700 бетон, м^2	37430 барьерный материал (глина), м^3

Внутри шахты реактора	
2170 бетон, м^3	7830 барьерный материал (глина), м^3

Внереакторные помещения	
6530 бетон, м^3	29600 барьерный материал (глина), м^3

Рисунок 79 **Технология заполнения пространств ПУГР барьерными материалами**

Заполнение реакторов барьерным материалом имело ряд особенностей. Сложная конфигурация внутренних объемов металлоконструкций обусловила большую трудоемкость операций по изготовлению специальных проходок в металлоконструкциях реактора, через которые возможно было вести заполнение пустотного пространства и контроль качества (рисунок 80). Все это требовало применения узкоспециализированного оборудования:

- длинномерные штанги для вырезки проходок;
- трубопроводы и специальные насадки для заполнения объёмов металлоконструкций;
- оборудование для контроля качества заполнения.



Рисунок 80 **Особенности работ при заполнении реактора барьерным материалом**

Чтобы обеспечить бесполостное заполнение барьерным материалом всех пространств и схем реактора были скорректированы проектные решения подачи материала. Барьерный материал под давлением подавался в приемный бункер растаривателя с помощью пневмокамерного насоса, затем по транспортному трубопроводу он подавался непосредственно в реактор. На нижнем конце трубопровода закреплялась специальная раздувочная насадка, которая направляла поток барьерного материала на необходимый угол в вертикальном направлении. Ниже раздувочных насадок были закреплены специальные форсунки, которые направляли поток сжатого воздуха, обеспечивая тем самым дополнительную аэрацию сыпучего материала и перемещение его уже в горизонтальном направлении в схемах реактора (рисунок 81).



Рисунок 81 **Заполнение ПУГР барьерными материалами**

Для надежной изоляции от внешних воздействий выведенной из эксплуатации реакторной установки сверху нее устанавливалось разгрузочное перекрытие, внутренние полости которого также заполнялись глиняным материалом.

В целях долгосрочного мониторинга безопасного состояния объектов на площадках их размещения была смонтирована система технологического и радиационного контроля состояния графитовой кладки реактора, предназначенная для измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и температуры в реакторе. Кроме того, смонтированы инспекционные каналы для ведения постоянного контроля стабильности, целостности и безопасности барьерных материалов. Мониторинг состояния барьеров проводится с целью выявления усадки глины и ее увлажнения.

АО «ОДЦ УГР»

ПУГР АДЭ-4, АДЭ-5 предназначались для производства плутония и выработки тепловой и электрической энергии. АДЭ-4 находился в эксплуатации в период 1964–2008 годов, АДЭ-5 — в период 1965–2008 годов.

ПУГР расположены в едином здании № 450/451 на площадке № 11 АО «СХК» (рисунок 82). В настоящее время топливо из активной зоны выгружено, реакторы приведены в ядерно безопасное состояние и эксплуатируются в режиме окончательного останова.

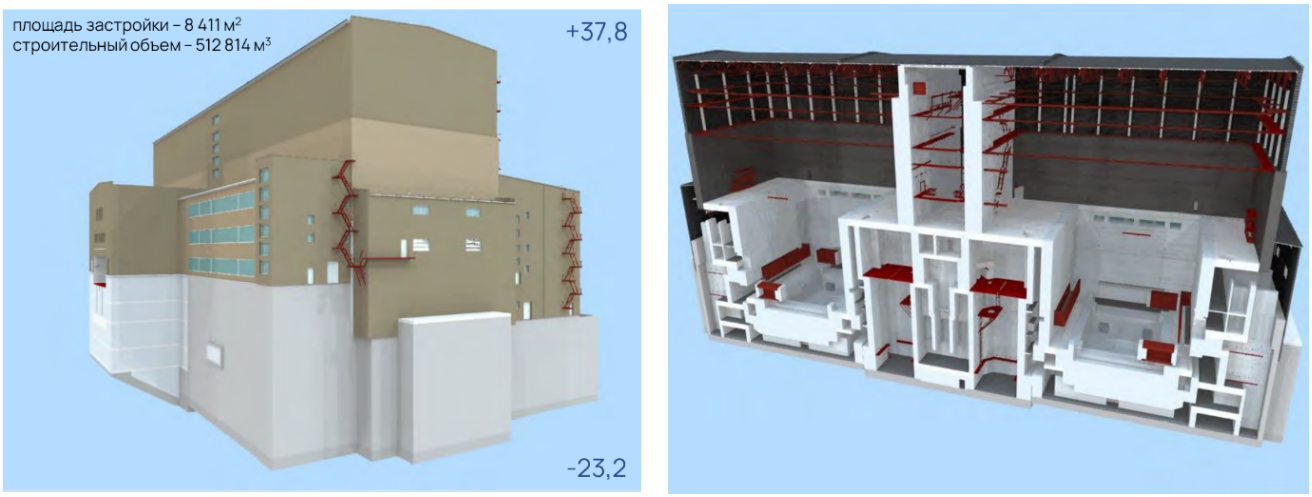


Рисунок 82 **Схема здания 450/451 ПУГР АДЭ-4, АДЭ-5**

Работы по выводу из эксплуатации начаты в рамках ФЦП ЯРБ. Проведено КИРО, обследованы графитовые кладки и металлоконструкции реакторных установок, а также технологические помещения здания. Разработан проект вывода из эксплуатации и проведена первичная регистрация РАО, как особых. Выполнена чистка транспортно-технологических емкостей, промбассейна, технологических шахт от технологических сборок, каналов, иловых отложений.

В рамках первого этапа реализации Программы начались работы по демонтажу и фрагментации технологического оборудования и трубопроводов 1-го контура. В некоторых помещениях на нескольких локальных участках мощность дозы γ-излучения со стороны шахты реактора составляла до 0,9 мЗв/ч, в них до начала работ были выполнены мероприятия по устройству дополнительной биологической защиты с применением пластиковых емкостей, заполненных водой, и радиозащитных матов.

На втором этапе реализации Программы продолжены демонтажные работы, отсортировано 2709 тонн демонтированного оборудования. Хранилища ДХО-12, ДХО-13 полностью освобождены от ТРО, извлеченные отходы объемом 1636 м^3 размещены в ДХТО-14. Выполнено бетонирование бункера схемы «Т», ведутся работы по заполнению пространств реакторов барьерными материалами (рисунок 83).



Рисунок 83 **Полное заполнение бункер схемы «Т» (пом.214/1) бетоном**

По завершении работ по выводу из эксплуатации ПУГР АДЭ-4, АДЭ-5 и площадки № 11 АО «ОДЦ УГР» на площадке должны остаться только пункты консервации особых РАО и система мониторинга.

Промышленный уран-графитовый реактор И-1, размещенный в здании 150/151 на площадке 2, был введен в эксплуатацию в 1955 г. и предназначался для производства плутония. В 1990 г. ПУГР И-1 был окончательно остановлен и приведен в ядерно безопасное состояние. В рамках второго этапа программы выполнены работы по созданию необходимой инфраструктуры и начаты работы по демонтажу инженерных систем.

5.3 Вывод из эксплуатации объектов ЯТЦ

Вывод из эксплуатации установки У-5, участка радиоактивного загрязнения № 9 и исследовательского корпуса «Ж» АО «ВНИИНМ» (г. Москва)

На первом отечественном реакторе Ф-1, расположенном в Лаборатории № 2 Академии наук СССР (ныне НИЦ «Курчатовский институт») облучался уран, который передавали на установку У-5 в АО «ВНИИНМ». На установке У-5 проходила наиболее трудоемкая часть проектов по созданию отечественного ядерного оружия. Именно на У-5 18 декабря 1947 года впервые в СССР из урана был выделен первый препарат трехвалент-

ного плутония массой 73 мкг. К концу 1948 года было получено около 300 мг концентрированных растворов плутония. Отработанные здесь промышленные технологии впоследствии были внедрены на радиохимическом комбинате ФГУП «ПО «Маяк».

Установка У-5 располагалась в отдельной пристройке, занимающей 4 этажа, и включала в себя 2 шахты с экстракционными колоннами, 2 комплекса помещений с «горячими камерами», 35 лабораторий различного назначения, 29 стандартных вытяжных шкафов и нестандартных лабораторных перчаточных боксов для работы с радиоактивными веществами, ряд технологических помещений с вакуумными насосами и емкостями для сбора и хранения технологических растворов и жидких радиоактивных отходов.

В помещениях объекта сложилась сложная радиационная обстановка, обусловленная загрязнением плутонием-239 и локальными источниками гамма- и бета-излучения, в некоторых помещениях происходило выделение радона из строительных конструкций. В подвале длительное время располагалось хранилище спецпродукции и РАО.

Загрязнение радиоактивными веществами различного физико-химического состава и аварийное состояние сооружений и инженерных систем установки У-5 представляло потенциальную опасность для персонала, населения и окружающей среды. В связи с этим было принято решение о выводе ее из эксплуатации.

Подготовительный этап по выводу из эксплуатации установки У-5 начался еще в ходе ФЦП ЯРБ: были удалены накопленные РАО, осуществлено приведение установки в ядерно безопасное состояние, разработана программа и проект вывода из эксплуатации, проведено КИРО. В рамках первого этапа реализации Программы выполнены работы по дезактивации и демонтажу инженерных сетей, дезактивации помещений и строительных конструкций (рисунок 84).



Рисунок 84 **Подготовка помещений, демонтаж и дезактивация оборудования установки У-5**

В период 2021–2022 годов выполнен завершающий этап по выводу из эксплуатации установки У-5 с демонтажем строительных конструкций, извлечением фундаментов и рекультивацией площадки проведения работ (рисунок 85). Получено экспертное заключение эпидемиологов о подтверждении соответствия площадки требованиям санитарного законодательства (рисунок 86).



Рисунок 85 Завершающий этап вывода из эксплуатации установки У-5



Рисунок 86 Площадка на месте ликвидированной установки У-5

Научно-производственный корпус «Ж» представлял собой одноэтажное здание площадью около 1 тысячи м^2, состоявшее из 16 помещений различного назначения. Шесть из них являлись радиационно загрязненными. Корпус был введен в эксплуатацию в 1959 году и использовался для проведения лабораторных, стендовых и опытно-промышленных экспериментальных работ с применением ядерных материалов, радиоактивных веществ и источников ионизирующего излучения. В 2015 году в связи с отсутствием планов по дальнейшему использованию корпус был переведен в режим останова.

В 2016 году были разработаны и утверждены концепция и проект вывода из эксплуатации корпуса «Ж» по варианту «ликвидация» (немедленный демонтаж) со сносом здания. Тогда же были начаты работы по удалению источников ионизирующего излучения из оборудования и дезактивации радиоактивных загрязнений.

Основные работы на объекте начались в 2019 году. За три года была создана необходимая инфраструктура, проведены дезактивация и демонтаж оборудования и инженерных систем, началась дезактивация строительных конструкций.

В период 2022–2023 гг. велся демонтаж строительных конструкций с использованием специальной техники. После извлечения фундаментов были удалены радиационно загрязненный грунт и РАО, котлован засыпан чистым грунтом (более 3 тысяч м^3).

Параллельно на площадке велись работы по ликвидации участка радиационного загрязнения (УРЗ) № 9, примыкающего к корпусу «Ж». Загрязненный участок образовался в период 1950–1960-х годов в результате прошлой деятельности АО «ВНИИНМ» по выполнению оборонных программ. В ходе радиационного обследования промплощадки предприятия в 2010–2012 гг. было выявлено 14 участков радиационного загрязнения общей площадью более 3 тысяч м^2, 12 из них были ликвидированы до 2016 года. В ноябре 2023 года работы по выводу из эксплуатации УРЗ № 9 и реабилитации территории были полностью завершены (рисунок 87).

По завершении проектов получено экспертное заключение о радиационно-безопасном состоянии площадки на месте ликвидированных корпусов «Ж» и УРЗ № 9 и проведены работы по благоустройству территории (проезды из асфальтобетона, дорожки из тротуарной плитки, выполнено устройство газонов, высажены деревья).



Рисунок 87 **Площадки корпуса «Ж» и УРЗ № 9 после завершения работ**

Вывод из эксплуатации зданий № 802 и № 804 АО «АЭХК» (г. Ангарск, Иркутская область)

В 2025 году АО «АЭХК» завершил многолетний масштабный проект по выводу из эксплуатации зданий №№ 802 и 804.

Здания 802 и 804, общей площадью более 160 тысяч м^2 и длиной каждого около 1 км, являлись частью ядерной установки по разделению изотопов урана диффузионным методом. Конструкция зданий однотипная и представляет собой прямоугольное одноэтажное строение высотой до 18 метров с подвальным этажом (рисунок 88).

В связи с переходом на новую технологию разделения изотопов урана оборудование в корпусах было выведено из технологического процесса и остановлено в 1987 и 1990 годах. С 1996 года здания были отключены от электроснабжения, отопления и вентиляции, что достаточно быстро привело их в аварийное состояние. С 1987 по 2009 год оборудование корпусов было частично демонтировано и утилизировано, часть оборудования размещено на открытой площадке.

В период 2016–2021 годов осуществлен вывод из эксплуатации здания № 804. В результате реализации проекта корпус здания был полностью демонтирован. Получено заключение о радиационно безопасном состоянии территории объекта.

В рамках второго этапа реализации Программы завершены работы по зданию № 802. В ходе работ была создана необходимая инженерная инфраструктура, удалено оборудование и коммуникации, дезактивированы и демонтированы строительные конструкции здания (рисунок 89), засыпан его котлован. К 2025 году здание было полностью демонтировано. Реабилитирована территория размещения здания, общей площадью 73,6 тысяч м^2 (рисунок 90).



Рисунок 88 Площадка расположения здания № 802



Рисунок 89 Процесс демонтажа здания № 802



Рисунок 90 Реабилитированная территория после ликвидации здания № 802

В целях обеспечения безопасного и эффективного обращения с РАО при выводе из эксплуатации зданий 804 и 802 комбинат успешно применял передовые методы и технологии дезактивации:

- абразивная струйная обработка;
- жидкостная дезактивация;
- криобластинг;
- пирометаллургическая дезактивация металлических отходов со сложной морфологией и радионуклидным составом.

Образовавшиеся радиоактивные отходы приведены к установленным критериям приемлемости для захоронения, упакованы в специальные контейнеры и переданы на захоронение.

Для реабилитации территории на комбинате применялась установка по сортировке радиационно загрязненных грунтов FREMES. Технология позволяет максимально эффективно и безопасно для работников отделить загрязнённый грунт от чистого, что значительно сокращает количество образующихся РАО (рисунок 91).



Рисунок 91 **Установка по сортировке радиационно-загрязненных грунтов FREMES**

Вывод из эксплуатации производства ТВЭЛ для ПУГР в ПАО «НЗХК» (г. Новосибирск)

Производство ТВЭЛ для промышленных реакторов на ПАО «НЗХК» было организовано в 1948 году с целью обеспечения потребностей оборонного комплекса. На начальной стадии до конца 60-х годов производство включало полный цикл обращения с ядерными материалами: от переработки урановой руды с получением концентрата природного урана до получения металлического урана и изготовления ТВЭЛ для ПУГР.

В производственных циклах было задействовано более 20 объектов, а также комплекс зданий и сооружений, обеспечивающих эксплуатацию хвостохранилища для размещения низкоактивных отходов. В период 1991–2010 гг. все ПУГР были остановлены, производство топлива больше не требовалось, и в 2008 году оно было прекращено. В процессе производства ТВЭЛ для ПУГР производственные здания, оборудование, используемое в технологическом цикле, а также прилегающие к производственным помещениям территории были загрязнены ураном. Неиспользуемые и загрязненные здания производства подлежали ликвидации (немедленный демонтаж) со сносом здания. Эти работы были важны еще и с той точки зрения, что предприятие расположено в городской черте Новосибирска, вблизи других жилых и промышленных зданий.

Часть объектов были выведены из эксплуатации в рамках ФЦП ЯРБ и первого этапа ФЦП ЯРБ-2 (здания №№ 73 и 18, складской комплекс «Макеты»).

В 2022 году в рамках подготовительных работ выполнено лазерное сканирование выводимых из эксплуатации объектов, которое позволило быстро и эффективно создать 3D-модели зданий, сохраняющие полное геометрическое соответствие форм и размеров реальных объектов с высокой степенью детализации. Наряду с оцифрованной проектной документацией результаты лазерного сканирования легли в основу разработки цифровых информационных моделей (ЦИМ). Применительно к процессам вывода из эксплуатации ЦИМ позволяет объединить результаты эксплуатационных, проектных решений и проведенных обследований для определения объемов и методов КИРО и разработки проектной документации по выводу из эксплуатации, включая транспортно-технологические схемы обращения с РАО и оценку необходимого количества персонала.

В рамках реализации второго этапа Программы приведены в ядерно-безопасное состояние здания 17/3, 17/5 и 17б. В зданиях удалены ядерные материалы из оборудования и инженерных систем технологических цепочек производственных участков и вентсистем. По результатам гамма-спектрометрических измерений накопленных ядерных материалов в технологическом оборудовании проведена дополнительная зачистка, после чего получено заключение о ядерной безопасности выводимых из эксплуатации зданий.

5.4 Вывод из эксплуатации ОИАЭ

Вывод из эксплуатации радиохимических производств Московского филиала ФГУП «РАДОН» (г. Москва)

Промышленная площадка Московского филиала ФГУП «РАДОН» (бывшая территория АО «ВНИИХТ») расположена в густонаселенном районе г. Москвы. На площадке расположены 13 основных научно-производственных корпусов, 5 корпусов административного назначения и более 23 вспомогательных зданий и сооружений. АО «ВНИИХТ» являлся головным предприятием атомной отрасли по разработке технологий извлечения урана и тория из руд, изготовления металлического урана, оксидов, фторидов, а также лития и бериллия. Площадка на Каширском шоссе стала первым реализованным пилотным проектом по передаче объектов ФГУП «РАДОН», определенному в 2018 году в качестве специализированного отраслевого оператора.

Принятая организационная мера направлена на формирование централизованного обращения с объектами ядерного наследия и оптимизацию процессов по выводу их из эксплуатации.

Наиболее радиационно опасным объектом на площадке являлся радиохимический корпус № 8, представляющий собой сложное объемно-планировочное инженерное сооружение (рисунок 92). Основную опасность представляли соединения плутония и осколочных элементов, накопленные в процессе эксплуатации корпуса, в основном в вентиляции, системах спецхимводоочистки, «грязного» вакуума и других коммуникациях на всех 4 уровнях технологических помещений корпуса. В отдельных помещениях корпуса уровни загрязнений альфа-нуклидами превышали допустимые пределы в 200–500 раз.



Рисунок 92 **Общий вид и схема компоновочных решений корпуса № 8**

На первом этапе ФЦП ЯРБ-2 велись работы с акцентом в сторону углубленных обследований площадки, подготовки необходимой инфраструктуры и повышения эффективности предпроектных решений. В одном из корпусов организовано временное хранение РАО. Разработана Программа обследования корпусов и участков радиоактивного загрязнения для определения объема работ по выводу из эксплуатации. Обследование территории включало пешеходную гамма-съемку и бурение разведывательных скважин (рисунок 93). Очаги радиационного загрязнения были обнаружены в двух корпусах, они имели точечный характер и были удалены в процессе исследований.



Рисунок 93 **Проведение гамма-каротажа и работа с установкой алмазного бурения**

В 2020 году начата разработка ЦИМ объектов и площадки Московского филиала ФГУП «РАДОН». ЦИМ объектов включают в себя основные сведения о конструкциях, технологическом оборудовании, наличии радиоактивных и химических загрязнений строительных конструкций и оборудования. С учетом важности проектирования работ в условиях городской застройки модели данного вида разрабатывались для всех зданий и сооружений площадки (рисунок 94).

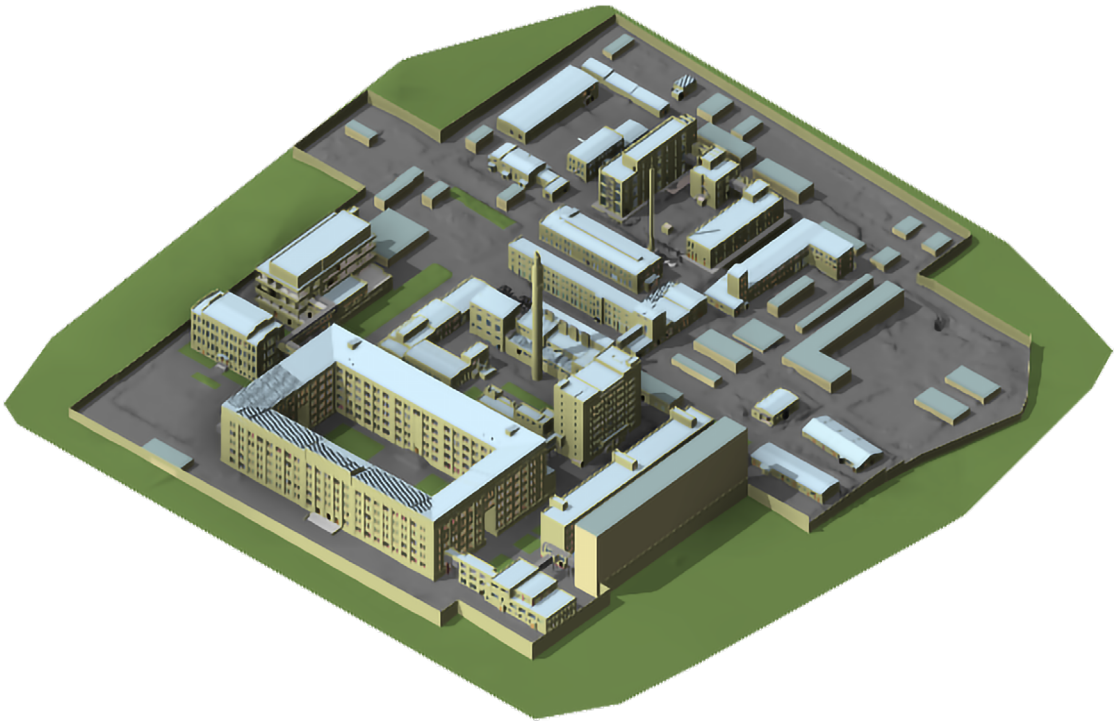


Рисунок 94 **3D-визуализация общего вида промышленной площадки**

В 2022 году корпус № 8 был подготовлен к выводу из эксплуатации, организована инженерная инфраструктура технологического обеспечения вывода из эксплуатации (обеспечены санитарно-бытовые условия для персонала, установлены и введены в эксплуатацию мобильные санпропускники, организованны площадки для мойки колес автотранспорта, загрузки автотранспорта, хранения контейнеров), организована зона контролируемого доступа, оборудованная СФЗ.

В период 2023–2025 годов выполнены работы по дезактивации, демонтажу технологического и инженерного оборудования (в том числе системы сооружения временного хранения отходов). Вывод из эксплуатации корпуса № 8 полностью завершен, реабилитировано 2,5 тысяч м^2 радиационно загрязненной территории.

Кроме этого на площадке проведена реабилитация (демонтаж оборудования, обращение с отходами), приведение в радиационно безопасное состояние корпусов. Выполнен снос (демонтаж) корпуса 10. Реабилитированы два участка радиоактивного загрязнения (УРЗ-1 и УРЗ-2), получено экспертное заключение ФМБА России о радиационно безопасном состоянии территории. Создана временная внутренняя инфраструктура для вывода из эксплуатации корпусов № 1, 2, 3, 13.

В рамках повышения эффективности на площадке активно внедряются роботизированные и дистанционно управляемые комплексы, предназначенные, в первую очередь, для минимизации радиационного воздействия на персонал и повышение производительности работ, а также для подтверждения работоспособности отечественных разработок, достижения отдельных проектных и функциональных показателей и выявления потенциала оптимизации применительно к задачам вывода из эксплуатации.

Вывод из эксплуатации неиспользуемых зданий и сооружений ФГУП «ПО «Маяк» (г. Озерск, Челябинская область)

Химико-металлургический завод

На территории промышленной площадки химико-металлургического производства находятся здания, промышленная эксплуатация которых в настоящее время либо завершена, либо будет завершена в результате выполнения работ по реконструкции завода. Здания являются радиационно опасными объектами и представляют потенциальную экологическую опасность.

В 2022 году ликвидировано здание № 4аС, представляющее собой подземное, одноэтажное складское помещение, состоящее из двух коридоров и 6 помещений. Здание введено в эксплуатацию в 1949 году и использовалось для хранения оборотов литейно-механического производства. Ликвидация осуществлялась по варианту «немедленный демонтаж» с реабилитацией и благоустройством территории.

На начальном этапе демонтажа здания были выполнены подготовительные мероприятия, в том числе устройство временного ограждения и временных подъездных дорог. После демонтажа основного технологического оборудования и внутренних коммуникаций осуществлен поэтапный разбор строительных конструкций. Выполнена обратная засыпка котлована и осуществлено обращение с образовавшимися РАО (рисунок 95). После демонтажа здания реабилитировано и благоустроено более 2,6 тысяч м^2 радиационно загрязненных территорий.



Рисунок 95 **Разбор строительных конструкций здания № 4аС**

В 2025 году начался подготовительный этап к выводу из эксплуатации здания № 81А. Подготовлены материалы оценки воздействия на окружающую среду вывода из эксплуатации здания и разработан отчет по обоснованию безопасности.

Завершить работы по выводу из эксплуатации неиспользуемых зданий и сооружений химико-металлургического завода планируется до конца 2030 года.

Радиохимический завод

На территории промышленной площадки завода расположено 5 неиспользуемых зданий: №№ 102, 121, 170, 172, 173, введенных в эксплуатацию в конце 1940 годов, и предназначенных для обращения с полученными в результате выполнения оборонных программ высокоактивными пульпами. В настоящее время здания не используются по проектному назначению вследствие физического износа и устаревших технологий.

В 2022—2024 ликвидированы 3 из 5 зданий: №№ 121, 172, 173. Работы выполнены по варианту «ликвидация».

Источниками загрязнения здания № 121 и прилегающей территории послужили радиационные аварии 1957 и 1967 годов. Здание состояло из двухэтажной надземной и одноэтажной подземной частей. Внутри были расположены технологические коммуникации, отключенные от действующих сетей завода (рисунок 96).



Рисунок 96 **Здание № 121 до начала работ и после сноса и реабилитации территории**

Здание № 172, построенное для обеспечения нужд завода теплоресурсами (котельная), проработало по проектному назначению в период 1951–1959 годов. На его территории были расположены склад и пункт приема угля, дробильный корпус, насосная станция и золоотвал. Эксплуатация здания прекращена в 2019 году (рисунок 97).



Рисунок 97 **Исходное состояние здания № 172**

Здание № 173 введено в эксплуатацию в 1951 году и представляло собой вспомогательное сооружение для котельной (здание 172). Здание 173 состояло из двух помещений: склад угля и помещения лебедочной (рисунок 98).





Рисунок 98 **Здание № 173 до начала работ и после сноса и реабилитации территории**

Вывод из эксплуатации всех зданий радиохимического завода производился по общей схеме. На начальном этапе выполнен ряд подготовительных работ, произведен демонтаж технологического оборудования и инженерных систем, а также обустроены временные подъездные дороги. После демонтажа технологического оборудования и внутренних коммуникаций осуществлен демонтаж строительных конструкций. Строительные конструкции подвергались поэтапной разборке с учетом морфологического состава и архитектурного конструктива с минимизацией пыления.

Выполнена обратная засыпка котлованов. После ликвидации зданий в общей сложности реабилитировано 13,4 тысяч м^2 радиационно загрязненной территории. Осуществлено обращение с радиоактивными отходами.

После завершения всех работ проведено контрольное радиационное обследование реабилитированной территории и получено экспертное заключение о ее радиационных характеристиках. Завершить вывод из эксплуатации неиспользуемых зданий и сооружений радиохимического завода планируется до конца 2035 года.

Реакторный завод

На территории промышленной площадки реакторного завода находятся здания, промышленная эксплуатация которых в настоящее время либо завершена, либо будет завершена в результате выполнения работ по реконструкции завода. Эти здания являются радиационно опасными объектами и представляют потенциальную экологическую опасность.

В 2022 году на территории завода ликвидировано здание № 401Е, введенное в эксплуатацию в 1987 году. В здании размещалось вентиляционное оборудование приточной вентиляции для здания № 401А. В основной его части были расположены станция пожаротушения, склад и электрощитовая. Ликвидация здания выполнена по варианту «немедленный демонтаж» с реабилитацией и благоустройством территории. В ходе работ была организована временная инфраструктура, обустроены временное ограждение площадки и подъездные дороги. После чего произведен демонтаж технологического оборудования, внутренних коммуникаций и строительных конструкций. Выполнены обратная засыпка котлована и обращение с образовавшимися РАО (рисунок 99). После демонтажа здания реабилитировано более 3 тысяч м^2 радиационно загрязненной территории. Благоустройство территории включало в себя устройство газона с добавлением растительного грунта. На полностью реабилитированной территории проводилось контрольное радиационное обследование, по результатам которого получено экспертное заключение о радиационных характеристиках.



Рисунок 99 **Демонтаж строительных конструкций здания № 401А и обратная засыпка котлована**

В 2025 году начался подготовительный этап к выводу из эксплуатации сооружения № 626. Подготовлены материалы оценки воздействия на окружающую среду вывода из эксплуатации здания и разработан отчет по обоснования безопасности, разработана проектная документация на вывод из эксплуатации. Завершить вывод из эксплуатации неиспользуемых зданий и сооружений реакторного завода планируется до конца 2028 года.

Пункты хранения ЖРО

На территории радиохимического завода расположены 19 зданий и сооружений с емкостями-хранилищами. Здания были введены в эксплуатацию в 50-х годах прошлого столетия, находятся в консервации с середины 60-х годов. Данные здания представляют собой емкости-хранилища среднеактивных и высокоактивных жидких РАО, находятся в режиме консервации после завершения производственных программ предыдущих лет и не используются по целевому назначению вследствие физического износа. В емкостях-хранилищах находятся растворы среднеактивных и высокоактивных ЖРО.

В рамках второго этапа Программы выполнены работы по выводу из эксплуатации зданий №№ 199, 145, 131(134), 102С, 120/6, 102А, 12/1 (рисунок 100). В ходе работ произведен демонтаж зданий, выполнено обращение с образовавшимися РАО и осуществлены работы по реабилитации и благоустройству территорий общей площадью более 12 тысяч м^2.

Всего с начала ФЦП ЯРБ-2 на ФГУП «ПО «Маяк» выведены из эксплуатации 14 пунктов хранения: здания №№ 135, 199а, 199, 145, 131(134), 102С, 120/6, 102А, 120/1 и сооружения №№ 135а, 1356, 135в, 136, 137. Реабилитировано 17,6 тысяч м^2 радиационно загрязненных территорий. К концу 2035 года планируется завершить ликвидацию всех 19 объектов.





Рисунок 100 **Реабилитация территории здания № 131(134) и ликвидация здания № 120/1**

5.5 Вывод из эксплуатации ПХРО

Вывод из эксплуатации пунктов хранения РАО (сооружения 310) АО «АЭХК» (г. Ангарск, Иркутская область)

Комплекс сооружений 310 включает 10 подземных железобетонных хранилищ различной конструкции, использовавшихся для приёма и хранения отходов сублиматного производства. Объем размещенных в них РАО низкой и средней активности составил около 2 тысяч м^3. Приём новых отходов прекращён с 2011 года (рисунок 101).



Рисунок 101 **Комплекс сооружений 310**

В рамках второго этапа реализации Программы на объектах создана необходимая инфраструктура для извлечения РАО: периметр физзащиты, сети электроснабжения, связи, охранной и пожарной сигнализации, КПП, санпропускник, бетонированные временные дороги и площадки, участки по перетарке ТРО, паспортизации и временному хранению упаковок с РАО.

Все сооружения освобождены от РАО, строительные конструкции дезактивированы. Выполняется обращение с РАО, извлеченными из сооружений 310: сортировка, сушка, кондиционирование, паспортизация, временное хранение. Передано на захоронение 235 упаковок с РАО класса 3.

До конца 2027 года планируется демонтировать сооружения 310, инфраструктуру, выполнить реабилитацию территории и снять объекты с регулирующего надзора.

Вывод из эксплуатации открытого бассейна-хранилища РАО № 365 ФГУП «ГХК» (г. Железногорск, Красноярский край)

Бассейн-хранилище РАО № 365 сооружен в 1958 г. и предназначался для приема и временного хранения некондиционных сточных вод ФГУП «ГХК». Представляет собой искусственную выемку в грунте с насыпной дамбой и системой противофильтрационных экранов (рисунок 102). Площадь зеркала составляет 54,5 тысяч м^2, максимальный объем заполнения — 204 тысячи м^3. Последний прием вод осуществлялся после останова ПУГР АДЭ-2 реакторного завода ФГУП «ГХК» в 2010 году.

В 2024 году организована инфраструктура: устройство временных сооружений, системы водоотведения, электроснабжения, подготовка территории, демонтирован трубопровод от распределительной камеры до бассейна-хранилища № 366.

В 2025 году приступили к реализации технологических решений на площадке временной установки оборудования и транспорта. Осуществлено устройство площадки временного размещения грунтов, возведены каркасные сооружения, устроены системы пожарной безопасности, водоотведения и технической вентиляции. Сформирован материально-технический парк.

В период до 2031 года работы по выводу из эксплуатации бассейна-хранилища № 365 по варианту «ликвидация» должны быть завершены.



Рисунок 102 **Общий вид бассейна-хранилища № 365**

Вывод из эксплуатации ПХРО ФГУП «РАДОН»

В рамках второго этапа ФЦП ЯРБ-2 ФГУП «РАДОН» осуществлял подготовку к выводу из эксплуатации пунктов хранения РАО (ПХРО) в 7 филиалах предприятия.

В Научно-производственном комплексе Сергиево-Посадского филиала ФГУП «РАДОН» (НПК-СПФ) для подготовки к выводу из эксплуатации хранилища жидких РАО (ХЖО-2) были дезактивированы и герметизированы входящие в его состав емкости № 17 и № 18 (рисунок 103). Произведено извлечение растворов осветленной части и иловых отложений емкостей, кондиционирование РАО, их паспортизация и размещение полученных упаковок на временное хранение во ФГУП «РАДОН» в объеме 770 м^3.



Рисунок 103 **Вид внутри емкости № 17 после проведения дезактивации**

Также на площадке НПК-СПФ были законсервированы два хранилища РАО — СБД-1 и СБД-2: выполнено обращение с РАО и размещение полученных упаковок на временное хранение.

Кроме этого, на основе сведений о технологических процессах обращения с РАО, исторических данных мониторинга, подготовки к выводу из эксплуатации, созданы цифровые информационные модели объектов площадки и разработана концепция «цифрового двойника» промышленной площадки. В составе концепции «цифрового двойника» описана базовая архитектура системы на основе датчиков промышленного интернета вещей и сети связи, интеграции с автоматизированной системой учета и контроля радиоактивных веществ и РАО, информационными системами предприятия, базой данных, подлежащих выводу из эксплуатации объектов, системами мониторинга и контроля радиационной обстановки. Основные принципиальные подходы и технические решения, после их апробации на пилотной площадке, могут быть тиражированы и на другие предприятия отрасли.

В Казанском отделении Приволжского филиала (республика Татарстан) выполнены КИРО систем и элементов, помещений, зданий, сооружений, технических средств и оборудования, а также предпроектные изыскания (инженерно-геодезические и инженерно-экологические) ПХРО.

В Кирово-Чепецком отделении Приволжского филиала (Кировская область) с целью разработки проектной документации вывода из эксплуатации ПХРО в 2022 году на площадке завершено КИРО. Выполнено обследование систем и элементов, помещений, зданий, сооружений, технических средств и оборудования. Разработана ЦИМ.

В одном из сооружений ПХРО (склад 2а) извлечено, кондиционировано и размещено на временное хранение 13 контейнеров с ТРО. Кроме этого, выполнены инженерные изыскания для вывода из эксплуатации 6 корпусов (93, 96, В-1, В-9, В-20, 2А) и хранилищ ЖРО № 155/1,2, разработана проектно-сметная документация и получены положительные заключения экспертизы (рисунок 104).



Рисунок 104 **Общий вид корпуса В-9 Кирово-Чепецкого отделения**

На территории Благовещенского отделения Приволжского филиала (Республика Башкортостан) из трех хранилищ (ВХТРО, ХТРО и ХЖРО) извлекли и разместили на временное хранение около 27 м^3 ТРО и 36 м^3 ЖРО.

В Самарском отделении филиала «Приволжский территориальный округ ФГУП «РАДОН» (Самарская область) из ХТРО №№ 1, 2, 3 ХБРАО № 1 удалены РАО. Извлеченные РАО отсортированы, переработаны, кондиционированы и переданы на захоронение. Проведено радиационное обследование внутренних поверхностей ХТРО и прилегающей территории. ХТРО № 1, 2, 3 и ХБРАО № 1 приведены в первоначальное состояние.

В Волгоградском отделении филиала «Южный территориальный округ ФГУП «РАДОН» (Волгоградская область) из ХТРО Е1 и ХТРО Е2 удалены ОЗИИИ и РАО (размещенные навалом). Извлеченные РАО переработаны, кондиционированы и размещены на временное хранение.

На территории Уральского филиала (Челябинская область) из ХТРО-109 удалены РАО и ОИИИ.

В общей сложности на объектах ФГУП «РАДОН» за второй этап реализации Программы извлечено и передано на захоронение 2,4 тысячи м^3 накопленных РАО.

5.6 Вывод из эксплуатации исследовательских реакторов и установок

Вывод из эксплуатации исследовательского реактора БР-10 АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» (г. Обнинск, Калужская область)

В АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» (г. Обнинск, Калужская область) продолжается проект по выводу из эксплуатации исследовательского реактора БР-10, первого реактора на быстрых нейтронах. Быстрый исследовательский реактор БР-10 был пущен в 1959 году и после 43 лет безаварийной работы в 2002 году был остановлен (рисунок 105). За это время на установке было накоплено 19,7 м^3 щелочного металла, использовавшегося в качестве жидкометаллического теплоносителя. В 2016–2025 гг. накопленный металл постепенно удалялся и перерабатывался на специальном модуле «МАГМА».

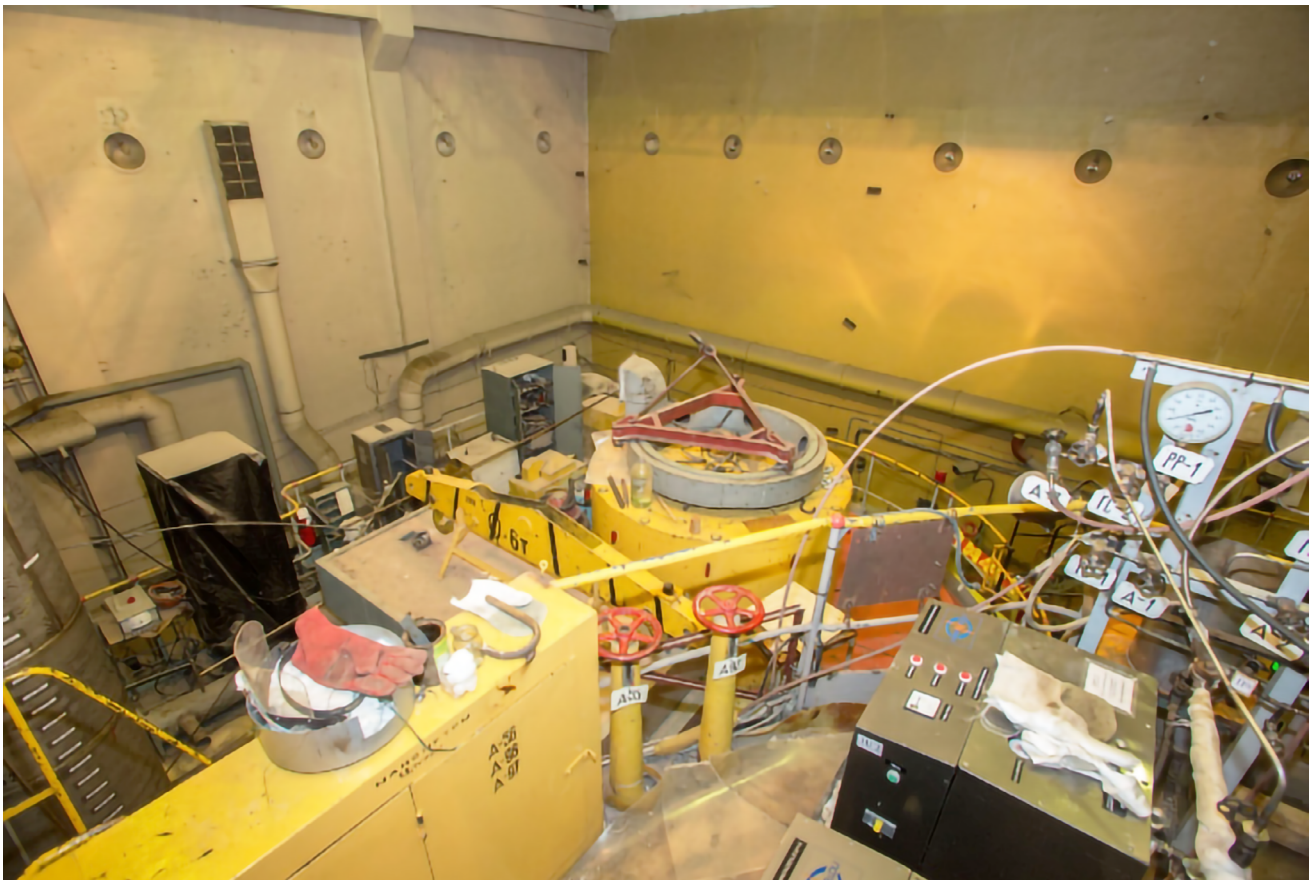


Рисунок 105 **Реактор БР-10**

К концу 2025 года переработано 14,8 м^3 теплоносителя. Кроме того, завершено удаление (слив) радиоактивного натрия и очистка от недренируемых остатков всех 16 холодных ловушек окислов на модуле «ЛУИЗА-РАО».

Завершить работы по выводу из эксплуатации реактора БР-10 планируется до конца 2035 года.

Вывод из эксплуатации высокоактивированных мишенных узлов и оборудования экспериментальных установок ускорительного комплекса У-70 НИЦ «Курчатовский институт» — ИФВЭ (г. Протвино, Московская область)

В состав ускорительного комплекса У-70, введенного в эксплуатацию в 1967 году, входят ускорители протонов на энергии до 70 ГэВ, каналы частиц, мишенные комплексы и экспериментальные установки для фундаментальных исследований, состоящие из магнитооптических элементов, мишенных станций, анализирующей и детектирующей аппаратуры, поглотителей. Экспериментальные установки (каналы частиц) уникальны для каждого эксперимента. Новые исследования требуют, как правило, создания качественно иных экспериментальных установок на месте старых. Таким образом, возникает необходимость вывода из эксплуатации ряда экспериментальных установок, выполнивших свою экспериментальную программу, морально/физически устаревших или исчерпавших свой радиационный ресурс.

В рамках ФЦП ЯРБ-2 ведутся работы по выводу из эксплуатации высоко активированных мишенных узлов и оборудования экспериментальных установок КАСКАД, БАРС, СИГМА ускорительного комплекса У-70. К концу 2025 года из эксплуатации уже выведены экспериментальные установки БАРС, КАСКАД (рисунок 106), СИГМА (рисунок 107) и экспериментальная установка № 1 ИСТРА. Выполнен демонтаж оборудования головной части канала 5Н в кольцевом зале У-70 и оборудования в здании № 450. Проведено КИРО экспериментальной установки № 2 ГАМС и разработаны проект и план по демонтажу оборудования.

В 2026 году запланированы работы по выводу из эксплуатации и демонтажу экспериментальной установки ГАМС. На 2027 год запланировано проведение КИРО экспериментальной установки КМН.

Реализация мероприятия по выводу из эксплуатации и демонтажу выполнивших свою экспериментальную программу, устаревших и исчерпавших свой радиационный ресурс установок открывает возможность создания на их месте новых уникальных детекторов для фундаментальных исследований свойств материи с использованием новейшей аппаратуры и современных методов набора и обработки экспериментальных данных.



Рисунок 106 **Зона экспериментальной установки КАСКАД (до и после демонтажа оборудования)**



Рисунок 107 **Зона экспериментальной установки СИГМА (до и после демонтажа оборудования)**

Вывод из эксплуатации исследовательского тяжеловодного реактора (мощностью 2,5 МВт) ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (г. Москва)

Тяжеловодный исследовательский ядерный реактор (ТВР), бывший прототип установок военного назначения, находится в Институте теоретической и экспериментальной физики в густонаселенном районе Юго-западного административного округа г. Москвы. В 1987 году после 37 лет эксплуатации ТВР был остановлен.

Адаптивные технологии, освоенные на других объектах, применяются при проведении работ по выводу из эксплуатации ИР «ТВР» и на других радиационно опасных объектах:

- Отказ от перегрузочных работ под защитным слоем воды, переход на сухие технологии позволил свести к минимуму обращение с ЖРО. Что в свою очередь позволило существенно сократить затраты на захоронение и переработку ЖРО. При таких работах исключена вероятность проливов и поверхностного загрязнения строительных конструкций загрязнённой водой.
- Для снижения уровней аэрозольной активности применяются локализующие составы типа ВЛ. Многократная обработка составом зоны выемки графита в корпусе реактора и соблюдение технологии сушки обработанных поверхностей полностью исключает снимаемое загрязнение.
- Для выполнения работ в высоких полях гамма-излучения применяются дистанционно управляемые машины различного класса. Машины могут быть оснащены гидравлическими инструментами или измерительными комплексами радиационной разведки.

В рамках второго этапа Программы выполнены подготовительные работы для осуществления демонтажа ТВР и обращения с радиоактивными отходами: проведено радиационное обследование соответствующих помещений (2200 м^2), изготовлены и переданы НИЦ «Курчатовский институт» — ИТЭФ специализированные средства технологического оснащения для вывода из эксплуатации. Помещения экспериментального зала и санпропускника приведены в соответствие требованиям ОСПОРБ 99/2010, выполнен монтаж систем электроснабжения, вентиляции и автоматики, а также произведена обработка дезактивируемыми составами и огнезащитной краской стен

и потолка экспериментального зала и мостового крана. Осуществлен частичный демонтаж (30 %) исследовательского тяжеловодного реактора (демонтаж железоводной защиты). Проведена дезактивация помещений и оборудования (300 м^2). Утилизированы радиоактивные отходы (6 м^3).



Рисунок 108 **ИР «ТВР» перед началом демонтажных работ**



Рисунок 109 **Процесс демонтажа железоводной защиты ИР «ТВР»**



Рисунок 110 **ИР «ТВР» после демонтажа железоводной защиты**

В период до 2030 года запланировано выполнение комплекса работ по выводу из эксплуатации объекта с полным демонтажом, проведение заключительного радиационного обследования.

Вывод из эксплуатации систем обеспечения исследовательских реакторов МР и РТФ (спецканализации, спецвентиляции и систем обращения с облученным топливом) ФГБУ «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (г. Москва)

Реактор РТФ — предшественник реактора МР, предназначенный для проведения физических и технических исследований, введен в эксплуатацию в 1952 году. В 1962 году реактор был остановлен и частично демонтирован, а рядом с ним в том же помещении сооружен более мощный петлевой реактор МР. Недемонтированная часть реактора РТФ — графитовая кладка активной зоны и отражателя — осталась в стальном корпусе в реакторном зале МР. Реактор МР был переведен в режим длительного останова в 1993 году после завершения программы исследований.

К концу 2025 года проведены демонтажные работы в подземной части здания № 37/1 (блок А). Разобраны и фрагментированы загрязненные элементы строительных конструкций, инженерных систем и строительные конструкции шахты реактора РТФ.

Проведены радиометрические, дозиметрические и спектрометрические измерения демонтируемых объектов до и после демонтажных и дезактивационных работ, а также радиационное обследование подземной части здания № 37/1 (блок А) до и после демонтажных работ. Обследованы ячейки в стационарном радиационном источнике — хранилище № 7.

Удалены ЖРО в объеме 84 м^3 из емкостей системы управления жизненным циклом оборудования (СУЖО) в зданиях № 37/3 и № 37/4. Дезактивированы помещения в здании № 37/4 после дренажа ЖРО общей площадью 300 м^2. Выполнен демонтаж загрязненного радионуклидами оборудования СУЖО в помещениях надземной и подземной частей здания № 37/4. Дезактивированы помещения подземной части здания № 37/4 после демонтажных работ общей площадью 500 м^2.

Выполнены работы по демонтажу загрязненного радионуклидами оборудования СУЖО в помещениях здания № 37/3. Проведены дезактивация (500 м^2) и радиационное обследование помещений здания № 37/3 после проведения демонтажных работ.

Завершены работы по выводу из эксплуатации систем спецвентиляции реакторов МР и РТФ. Дезактивировано более 2500 м^2 помещений и площадей.

К концу 2027 года планируется завершение вывода из эксплуатации систем обеспечения реакторов МР и РТФ (системы спецканализации, спецвентиляции), демонтаж помещения и дезактивация площадки, вывоз РАО и реабилитация территории.

В результате проведенных демонтажных и дезактивационных работ будут минимизированы радиоактивные источники на площадке расположения реактора МР и РТФ, что позволит улучшить экологическую и радиационную обстановку на территории НИЦ «Курчатовский институт» и в прилегающем жилом районе и обеспечить радиационную безопасность населения.



Рисунок 111 **Демонтаж вентиляционных коробов спецвентиляции здания № 37/1 и дезактивация поверхностей подземной части**



Рисунок 112 **Демонтаж отстойников в здании № 37/4**

Ликвидация объектов инфраструктуры по обращению с радиоактивными отходами и реабилитация территории предприятий Минпромторга России

Объект с исследовательским ядерным реактором (ИЯР) У-3, находящийся в эксплуатации ФГУП «Крыловский государственный научный центр», создавался на основании Постановления ЦК КПСС и СМ СССР № 980-458 от августа 1958 года и приказа Министра судостроительной промышленности СССР № 00142 от 22 мая 1959 года для решения научных задач, связанных с обороноспособностью нашей страны. Основным направлением исследовательских работ, проводимых на ИЯР У-3, являлись исследования материалов биологической защиты создаваемых судовых и корабельных ядерных энергетических установок, воздействие излучений на радиоэлектронные компоненты (рисунок 113).

В последние годы объемы работ, требующие использования ИЯР У-3, сведены до минимума в связи с накоплением большой базы экспериментальных данных и практического опыта в создании и эксплуатации корабельных и судовых ядерных энергетических установок, а также развитием вычислительных и информационных технологий. Кроме того, задачи, которые можно решать на ИЯР У-3, ограничены его техническими характеристиками, что не позволяет проводить исследования, в которых необходимо использовать большие потоки ионизирующего излучения. Объект расположен в интенсивно развивающемся жилом районе г. Санкт-Петербург, что требует обеспечения повышенной ядерной и радиационной безопасности, антитеррористической защищенности и влечет большие материальные затраты со стороны эксплуатирующей организации. В связи с этим дальнейшая эксплуатация ИЯР У-3 нецелесообразна.

С 2023 года разработаны документы по обеспечению безопасности вывода из эксплуатации ИЯР У-3 в соответствии с требованиями нормативных документов: отчет по обоснованию безопасности, программа и проект вывода из эксплуатации ИЯР У-3, разработана база данных по выводу из эксплуатации ИЯР У-3, инструкция по выгрузке твэлов в пеналы и транспортно-упаковочные контейнеры, а также программа комплексного инженерного и радиационного обследования ИЯР У-3. Проведена подготовка подъемно-транспортного оборудования, необходимого для осуществления работ.

В результате выполненной работы получена лицензия на эксплуатацию реактора в режиме окончательного останова. Органом управления использованием атомной энергии — Минпромторгом России утверждено Решение о переводе ИЯР У-3 в режим окончательного останова. Разработанные документы, обосновывающие ядерную и радиационную безопасность, будут использованы ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (объект «Правый берег») при выводе из эксплуатации объекта использования атомной энергии. Вывод из эксплуатации ИЯР У-3 позволит снизить потенциальную радиационную опасность для населения. Завершение подготовительных работ запланировано на 2027 год.



Рисунок 113 **Исследовательский ядерный реактор У-3**

5.7 Вывод из эксплуатации и утилизация атомных ледоколов и судов АТО

Атомный ледокол «Сибирь», введенный в эксплуатацию в 1977 году, стал вторым надводным кораблем, который достиг Северного полюса. Мощность энергетической атомной установки — 75 тысяч лошадиных сил, максимальная скорость — 20 узлов, водоизмещение — 21 тысяч тонн. В центральных отсеках ледокола размещены две реакторные установки ОК-900А, каждая с реактором водо-водяного типа с водой под давлением.

По причине большого количества негерметичных секций парогенераторов и невозможности эксплуатации реакторной установки в 1993 году было принято решение о консервации судна. Впоследствии из реакторов были выгружены активные зоны, в 1996 году произведена выгрузка ОЯТ.

13 ноября 2016 года атомный ледокол «Сибирь» был отбуксирован на акваторию филиала «СРЗ «Нерпа» АО «ЦС «Звездочка» для выполнения работ. «Сибирь» стал первым атомным ледоколом, отправленным на утилизацию. В августе 2022 года полностью завершены все работы по выводу из эксплуатации. С судна демонтировано все радиоактивно загрязненное оборудование и конструкции (рисунок 114). В настоящее время судно передано эксплуатирующей организации.



Рисунок 114 **Выгрузка парогенератора**

Система федеральных норм и правил в области использования атомной энергии в части требований безопасности при выводе из эксплуатации судов с ядерными реакторами и судов атомно-технологического обслуживания не была в полной мере гармонизирована с современными требованиями безопасности, а также не учитывала практический опыт Российской Федерации по выводу из эксплуатации таких объектов использования атомной энергии. Для целей обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации судов с ядерными реакторами и судов атомно-технологического обслуживания стояла задача разработать предложения по совершенствованию нормативной правовой базы.

По заданию Ростехнадзора ФБУ «НТЦ ЯРБ» был выполнен анализ рекомендаций международных организаций в области использования атомной энергии, в работе которых принимает участие Российская Федерация, анализ современного уровня развития науки, техники и производства в Российской Федерации, анализ правоприменительной практики и анализ предложений эксплуатирующих организаций и организаций, выполняющих работы и предоставляющих услуги в области использования атомной энергии в части обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации судов и других плавсредств с ядерными реакторами, судов атомно-технологического обслуживания.

По результатам выполненного анализа были разработаны предложения по совершенствованию нормативной базы Российской Федерации в области использования атомной энергии в части регулирования безопасности при выводе из эксплуатации судов с ядерными реакторами и судов атомно-технологического обслуживания.

6. РЕАБИЛИТАЦИЯ РАДИАЦИОННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ЯРОО

6 РЕАБИЛИТАЦИЯ РАДИАЦИОННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ЯРОО

Радиационно загрязненные территории (РЗТ) образовались в ходе прошлой деятельности предприятий атомной и других отраслей, а также в результате имевших место аварий и инцидентов. Такие территории могут значительно различаться по площади и характеру загрязнения и находиться как на промплощадках, так и в населенных пунктах или далеко за их пределами.

Реабилитация РЗТ направлена на приведение ее в безопасное состояние за счет снижения воздействия имеющегося загрязнения на человека и окружающую среду (рисунок 115). Это обеспечивается различными способами, включая удаление источника загрязнения, сооружение инженерных барьеров безопасности для его изоляции и др.

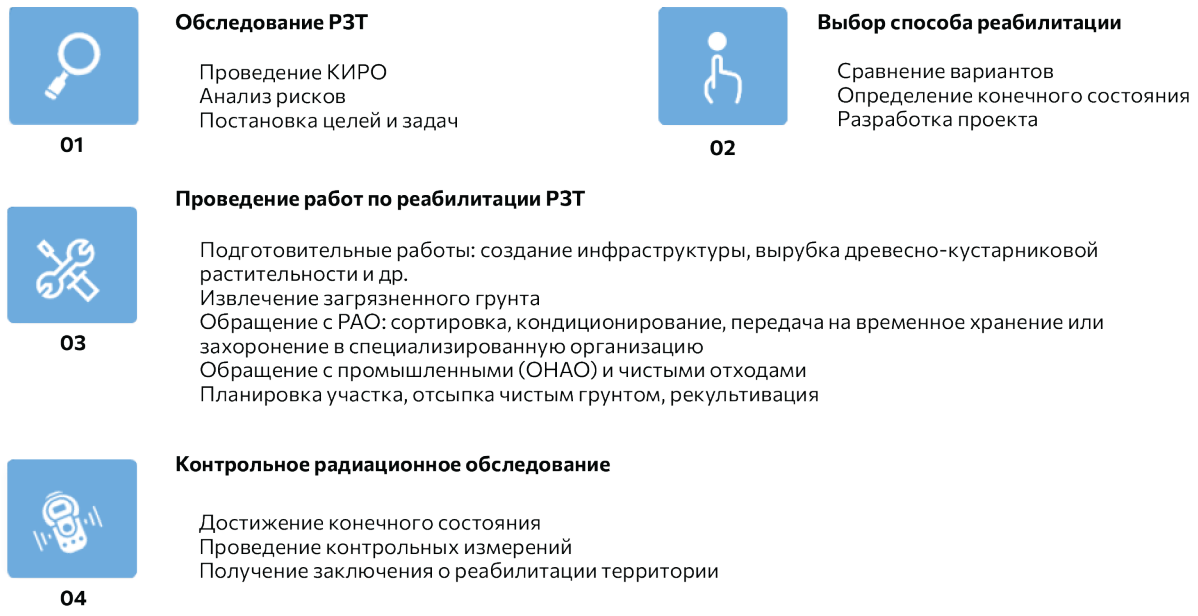


Рисунок 115 Общая логика работ по реабилитации РЗТ

Реабилитация территории завода 235 ФГУП «ПО «Маяк» (г. Озерск, Челябинская область)

Территория завода 235 ФГУП «ПО «Маяк» подверглась радиоактивному загрязнению в 1957 году из-за разгерметизации емкости с жидкими высокоактивными отходами и в 1967 году в результате ветрового уноса иловых отложений с обмелевшей береговой полосы водоема-хранилища РАО. В 2016 году было проведено КИРО радиоактивно

загрязненных участков. На участках находился лом, бетонные конструкции, строительные отходы и бесхозная строительная техника. Значения МЭД на обследованной территории были в диапазоне 0,6–30 мкЗв/ч.

В 2023 году завершился длительный проект по реабилитации четырёх радиационно загрязненных участков общей площадью 225 тысяч м^2.

Реабилитация территории выполнялась в несколько этапов:

- 2018 год – участок № 4 площадью 30 тысяч м^2;
- 2019—2020 годы – участок № 3 площадью 72 тысяч м^2;
- 2021—2022 годы – 1-я и 2-я части участка № 1 площадью 80 тысяч м^2;
- 2023 год – 3-я часть участка № 1 площадью 20 тысяч м^2 и участок № 2 площадью 23 тысяч м^2.

Работы включали в себя расчистку территории от строительного мусора, сбор, фрагментацию и вывоз на полигон захоронения радиационно загрязненного металлического лома, отсыпку территории слоем экранирующего грунта и планировку территории чистым грунтом (рисунок 116).



Рисунок 116 **Реабилитированные участки завода 235**

Реабилитация второй режимной территории ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России (г. Сергиев Посад, Московская область)

Работы по обследованию и частичной реабилитации второй режимной территории ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России, загрязненной в ходе проводимых в 1960-е годы радиологических исследований, проводились начиная еще с 2005 г. До 2015 г. на объекте выполнялись мероприятия по приведению в радиационно безопасное состояние участка радиационного загрязнения (УРЗ) № 1.

В 2018 г. выполнены работы по реабилитации (включая извлечение и обращение с РАО) УРЗ № 5 общей площадью 46,1 тысяч м^2 и получено заключение надзорного органа о приведении участка в соответствие с требованиями норм радиационной безопасности (НРБ 99/2009). В 2020 г. проведено КИРО УРЗ № 2, 3, 4, 6, 7, 10 с целью получения актуальной информации о загрязненных территориях и объектах, а также разработки рекомендаций и ведомостей работ по их реабилитации.

В рамках второго этапа реализации Программы полностью завершен комплекс работ по реабилитации участков радиоактивного загрязнения, общей площадью 80 тысяч м^2 (рисунок 117). Это позволило снизить уровень радиационной нагрузки на загрязнённых участках до нормативно установленных требований для использования в производственных целях.



Рисунок 117 **Реабилитация радиационно загрязненных участков «12 ЦНИИ»**

Реабилитация территорий субъектов Российской Федерации

В г. Медвежьегорск Республики Карелия на территории ранее дислоцировавшихся воинских частей были обнаружены радиоактивные загрязнения, являющиеся последствиями прошлой деятельности. В 2019 году совместной рабочей группой из Главного управления МЧС России по Республике Карелия и Государственного комитета Республики Карелия по обеспечению жизнедеятельности и безопасности населения были проведены замеры радиационного фона, результаты которых показали превышение нормы в 100 раз.

В 2020 году проведено КИРО здания бывшей градуировочной мастерской и прилегающей территории, а в 2021 году — заброшенного двухэтажного здания и прилегающей территории. Площадь радиационного обследования прилегающей территории составила более 6 700 м^2, площадь обследованных помещений зданий — 267 м^2. На отдельных участках территории значения мощности экспозиционной дозы вдвое и более превышали естественный радиационный фон исследуемого района (0,07 мкЗв/ч).

В 2021 году после проведения комплексного анализа территории выполнены работы по ликвидации и реабилитации объектов (рисунок 118). Общий строительный объем ликвидированных зданий составил 900 м^3. Выполненные работы внесли существенный вклад в повышение уровня экологической безопасности региона.



Рисунок 118 **Проведение работ по ликвидации объектов и реабилитации территории**

7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ, СОДЕРЖАЩИХ РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ, РАДИОАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И ЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

7 ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ, СОДЕРЖАЩИХ РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ, РАДИОАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА И ЯДЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В рамках второго этапа Программы обеспечена безопасность:

- ФГУП «ПО «Маяк» (г. Озерск, Челябинская область), объекты: Теченский каскад водоемов и гидротехнические сооружения, водоем № 9 (оз. Карачай)
- ФГУП «ГХК» (г. Железногорск, Красноярский край), объекты: Государственный радиевый фонд России
- АО «СХК» (г. Северск, Томская область), объекты: радиохимический и химико-металлургический заводы
- АО «ОДЦ УГР» (г. Северск, Томской области), объекты: производственные площадки № 2 и № 11

Остановленные ЯРОО необходимо непрерывно поддерживать в безопасном состоянии в течение всей завершающей стадии их жизненного цикла для предотвращения возможных аварийных ситуаций и попадания радиоактивных и химических веществ в окружающую среду. Комплекс работ включает регулярное техническое обслуживание таких объектов и способствует повышению защищенности персонала, населения и окружающей среды, а также обеспечивает снижение будущих затрат при выводе из эксплуатации (рисунок 119). Особое внимание уделяется крупным объектам ядерного наследия, работы по которым носят долгосрочный характер.

Объекты ФГУП «ПО «Маяк» (г. Озерск, Челябинская область)

Теченский каскад водоемов (ТКВ) с обводными каналами и подпорными сооружениями создан на реке Теча в 1956 году для изоляции низкоактивных радиоактивных отходов «Маяка». ТКВ представляет собой природно-техногенную систему водоемов, которая является крупнейшим в мире поверхностным пунктом хранения жидких РАО. Объем ТКВ — более 360 млн м^3, площадь — около 50 км^2, по уровню загрязнения вода относится к НАО (основной радионуклид — 90Sr), донные отложения — к САО (^{137}Cs).

В рамках ФЦП ЯРБ-2 непрерывно ведется мониторинг этого уникального объекта. Работы включают в себя обслуживание и ремонт гидротехнических сооружений, мониторинг состояния подземных вод, загрязнения атмосферы, радиационный мониторинг. Поэтапно реализовывается стратегический мастер-план по решению проблем Теченского каскада водоемов, утвержденный генеральным директором Госкорпорации «Росатом» в 2016 году.



Рисунок 119 **Комплекс работ по обеспечению безопасного состояния ядерно и радиационно опасных объектов**

Водоем В-9 (оз. Карачай) — один из ключевых объектов ядерного наследия, консервация которого была успешно завершена в 2015 году в рамках ФЦП ЯРБ. Сбросы ЖРО определили уникальность этого водоема, в котором сосредоточена активность (120 млн Ки) почти в 100 раз большая, чем во всех других водоемах ФГУП «ПО «Маяк» вместе взятых.

С 2016 года в районе расположения пункта хранения радиоактивных отходов осуществляется гидрогеологический мониторинг подземных вод (включающий проведение режимных наблюдений за уровнем и радиоактивным и химическим загрязнением подземных вод в наблюдательных скважинах), геодезический мониторинг массива отсыпки акватории водоема, мониторинг загрязнения атмосферы, поддержание в безопасном состоянии дополнительного защитного слоя над массивом засыпки, водоотводящего нагорного канала, кольцевой дамбы и подъездных дорог.

Объекты ФГУП «ГХК» (г. Железногорск, Красноярский край)

Хранилище ОЯТ (ХОТ-2) введено в эксплуатацию на ФГУП «ГХК» с 2012 года. В 2021–2025 гг. для обеспечения безопасности хранения ОЯТ на объекте были осуществлены:

- ежегодный контроль технологических параметров хранения ОЯТ, состояния транспортно-технологического оборудования, герметичности гнезд и пеналов хранения ОЯТ, учет и контроль расположения, перемещения и количества ОЯТ;
- работы по обслуживанию и ремонту технологического оборудования, трубопроводов, средств измерений, автоматизации, оргтехники, поверке и калибровке средств измерений;
- анализ аварий «сухого» хранилища ХОТ-2 РБМК-1000 и вероятностный анализ безопасности «сухого» хранилища ХОТ-2 ВВЭР-1000.

Государственный радиевый фонд России (ГРФ) представляет собой весь запас препаратов солей радия Государственного фонда, которые в 1984 году были переданы из Гохрана при Минфине СССР на хранение ФГУП «ГХК». В рамках ФЦП ЯРБ для обеспечения безопасного хранения ГРФ на комбинате было построено новое здание. В настоящее время на ФГУП «ГХК» хранятся все стратегические запасы радия.

В 2021–2025 гг. проводились работы по обеспечению безопасного хранения препаратов фонда, включая осуществление контроля параметров радиационной (экологической) безопасности и сохранности, а также выполнение планово-предупредительного обслуживания и ремонта оборудования.

Объекты АО «СХК» (г. Северск, Томская область)

Радиохимический завод (РХЗ), введенный в эксплуатацию в 1961 году, предназначен для переработки облученных стандартных урановых блоков (ОСУБ) ПУГР с целью очистки урана, плутония, нептуния от осколочных радиоизотопов и стабильных примесей до уровней, безопасных для дальнейшей переработки. В 2012 году, в связи с окончательным остановом ПУГР, эксплуатация производства переработки ОСУБ на площадке № 3 по проектному назначению была прекращена, проведены работы по переводу объектов в ядерно безопасное состояние. Производство включает в себя 7 основных и 3 вспомогательных здания, а также 7 подземных и 10 надземных сооружений (тоннели, каналы, эстакады), общая площадь которых около 165 тысяч м^2.

Химико-металлургический завод (ХМЗ), введенный в эксплуатацию в 1961 году, занимался выпуском и переработкой используемой в оборонной промышленности продукции на основе урана и плутония, в том числе изготовлением компонентов ядерных зарядов. В связи с завершением на ХМЗ производственных программ по государственному оборонному заказу, в 2017 году он переведен в режим окончательного останова с последующим выводом из эксплуатации. С 2016 года на площадке выполняются мероприятия по подготовке ХМЗ к выводу из эксплуатации (за базовый сценарий принят вариант «ликвидация со сносом зданий») и переводу зданий и сооружений в ядерно безопасное состояние. В состав ХМЗ входят 18 основных и более 40 вспомогательных технологических зданий и сооружений общей площадью (с учетом этажности) 105 тысяч м^2.

В соответствии с ОСПОРБ-99/2010 РХЗ и ХМЗ АО «СХК» относятся к объектам I категории потенциальной радиационной опасности.

В 2021–2025 годах, в рамках ФЦП ЯРБ-2, выполнялись работы по поддержанию в безопасном состоянии остановленных производств ХМЗ и РХЗ и переводу ХМЗ в ядерно безопасное состояние.Работы включают в себя обеспечение площадки энергоресурсами, дезактивацию оборудования и обращение с РАО.

Объекты АО «ОДЦ УГР» (г. Северск, Томская область)

АО «ОДЦ УГР», расположенное в г. Северск Томской области, размещено на двух производственных площадках (площадка № 2 и площадка № 11), на которых находятся ядерные и радиационно-опасные объекты, созданные в период 50–60 г.г. XX века в целях выполнения государственных оборонных программ и относящиеся к объектам «ядерного наследия».

В соответствии с ОСПОРБ-99/2010 АО «ОДЦ УГР» относится к III категории потенциальной радиационной опасности.

В настоящее время ведутся работы по поддержанию безопасного состояния ядерных и радиационно опасных объектов «наследия» на производственных площадках — осмотры, техническое обслуживание, ремонт оборудования, радиационный и дозиметрический контроль, а также обращение с ядерными материалами, радиоактивными веществами и радиоактивными отходами.

8. РАЗВИТИЕ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ РАБОТНИКОВ (ПЕРСОНАЛА) ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, НАСЕЛЕНИЯ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

8 РАЗВИТИЕ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИЩЕННОСТИ РАБОТНИКОВ (ПЕРСОНАЛА) ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, НАСЕЛЕНИЯ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

8.1 Строительство объектов медицинского обеспечения

«Медико-санитарная часть № 5» федерального государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Новороссийский клинический центр Федерального медико-биологического агентства» (г. Волгодонск, Ростовская область)

Необходимость строительства современной медико-санитарной части была обусловлено увеличением числа обслуживаемого контингента из числа персонала Ростовской атомной электростанции в связи со строительством энергоблоков № 3 и 4.

Основной целью инвестиционного проекта является оказание высококвалифицированной специализированной консультативно-диагностической и лечебной помощи в амбулаторных условиях персоналу Ростовской АЭС и прикрепленному контингенту Федерального медико-биологического агентства, а также местному населению.

Медико-санитарная часть № 5 позволит решить такие задачи, как:

- оказание квалифицированной специализированной медицинской помощи обслуживаемого контингента непосредственно в поликлинике и на дому;
- профилактика и лечение профессиональных заболеваний;
- осуществление предварительных и периодических медицинских осмотров;
- проведение дополнительных диспансерных осмотров работающего населения и углубленных диспансерных осмотров прикрепленного контингента ФМБА России;
- организация и проведение мероприятий по санитарно-гигиеническому воспитанию работающего населения, пропаганде здорового образа жизни.

За период 2021–2025 гг. по объекту завершено выполнение работ по устройству монолитного каркаса здания, наружных, внутренних стен и перегородок, кровли, фасада (без цоколя), сетей инженерно-технического обеспечения, монтажу оконных блоков, ИТП, лифтов, черновой отделке стен и пола внутри здания (рисунок 120).

Проводятся работы по внутренней отделке помещений и устройству инженерных систем. Произведена закупка и монтаж медицинского монтируемого оборудования (КТ, МРТ, рентген, маммограф, флюорограф) (рисунок 121).



Рисунок 120 **Медико-санитарная часть № 5**



Рисунок 121 **Монтаж медицинского оборудования**

В 2027 году планируется завершение строительно-монтажных работ с монтажом внутренних инженерных сетей, пуско-наладочные работы, благоустройство, оснащение медицинским оборудованием и мебелью и введение объекта в эксплуатацию. Строительство объекта направлено на повышение качества медико-санитарного обеспечения работников Ростовской АЭС и населения города.

Учебный корпус федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства» (г. Москва)

Для повышения квалификации медицинских работников занятых при оказании специализированной медицинской помощи облученному персоналу, ликвидаторов загрязнённых участков и населению загрязнённых районов в 2023 году завершено строительство учебного корпуса (рисунок 122).

В настоящее время в учебном корпусе проводятся учебные занятия ординаторов, обучающихся по 30 клиническим специальностям, учебные и научные мероприятия аспирантов, учебные занятия слушателей программ дополнительного профессионального образования. Дважды в год проводятся секции научно-практических конференций молодых ученых.



Рисунок 122 **Учебный корпус**

8.2 Работы по совершенствованию систем обеспечения и контроля ЯРБ объектов ядерного наследия

В рамках создания 2-й очереди АСКРО филиалов и отделений ФГУП «ФЭО» и интеграции их в АСКРО предприятия изготовлены, настроены, протестированы в лабораторных условиях и подготовлены к монтажу посты радиационного контроля и комплекты быстроразворачивемых АСКРО, осуществлена закупка оборудования, комплектующих, системного программного обеспечения; произведен монтаж, проведены проектно-изыскательские работы. Произведена перенастройка автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (интеграция 1-й и 2-й очередей). Проведены испытания автоматизированной системы контроля радиационной обстановки в целом. Система сдана в опытную эксплуатацию.

В районе размещения объектов атомной энергии ФГУП «Атомфлот» проведена реконструкция наблюдательной сети объектного мониторинга состояния недр, в том числе ликвидированы три скважины, находившиеся в неудовлетворительном состоянии с целью исключения возможности загрязнения подземных вод по затрубному пространству; пробурены пять новых скважин для обеспечения контроля состояния грунтовых вод по направлению потока их движения и в новых скважинах установлены автоматические датчики с целью проведения непрерывных режимных наблюдений сроком до 1 года за уровнями и температурой подземных вод.

Проведено обследование и проанализированы существующее на текущий момент состояние системы ОМСН, методики первичной обработки данных и осуществлена экспертная оценка существующего состояния системы ОМСН в 25 организациях Госкорпорации «Росатом». Актуализированы массивы данных АИС ОМСН по 28 промышленным площадкам 19 предприятий Госкорпорации «Росатом».

Разработаны алгоритмы оптимизации радиационной защиты персонала Госкорпорации «Росатом», состоящего на индивидуальном дозиметрическом контроле в системе АРМИР, для возможных вариантов аварийного облучения, включая различные сценарии поступления радионуклидов в окружающую среду при переработке отработавшего ядерного топлива и обращении с радиоактивными отходами. Выполнена интеграция в единую систему АРМИР подсистемы расчёта радиационных рисков в ситуациях аварийного облучения «АРМИР-А». Разработано руководство пользователя единой системы АРМИР по расчёту радиационных рисков в ситуациях аварийного облучения. Подготовлено 10 автономных расчетных комплексов оптимизации индивидуальных рисков персонала аварийно-спасательных формирований для передачи организациям Госкорпорации «Росатом».

8.3 Научно-исследовательские работы в области медико-санитарного обеспечения радиационной безопасности сотрудников атомной промышленности

Современные стандарты радиационной безопасности в основном базируются на результатах наблюдений за людьми, пережившими атомные бомбардировки, которые подверглись острому облучению в высоких дозах. В настоящее время актуальность представляют эффекты длительного облучения в малых дозах, что характерно для персонала предприятий Госкорпорации «Росатом» и населения, проживающего в зоне их влияния. В этой связи анализ отдаленных эффектов хронического облучения человека в малых дозах является первоочередным. Необходимо совершенствовать медицинское обеспечение персонала атомной промышленности, ядерной энергетики и населения, проживающего вблизи радиационно опасных объектов. Также весьма актуальным является изучение тяжелых местных лучевых поражений — радиационных ожогов кожных покровов, которые возникают при радиационных авариях и инцидентах с источниками ионизирующих излучений.

Результаты, полученные при реализации второго этапа Программы, позволят совершенствовать профессиональный отбор, наблюдение, диагностику, оценку профессиональной пригодности, экспертизу связи заболеваний с профессией и профилактику

профессиональной и соматической патологии у работников атомной промышленности и энергетики. Результаты исследования могут быть востребованы научными организациями, лечебно-профилактическими учреждениями, осуществляющими медицинское обеспечение работников атомной промышленности и энергетики, и учреждениями, осуществляющими контроль и надзор за обеспечением радиационной безопасности; Федеральным медико-биологическим агентством; Госкорпорацией «Росатом»; органами власти и самоуправления различных уровней. Практическое применение разработанной научно-технической продукции позволит повысить качество специализированной медицинской помощи персоналу ФГУП «ПО» Маяк» и населению, проживающему вдоль реки Теча, подвергшемуся (подвергающегося) хроническому облучению с низкой мощностью дозы. Применение в медицинской практике методических рекомендации по лечению радиационных ожогов позволит эффективно оказывать медицинскую помощь пострадавшим в результате радиационных аварий и инцидентов при обращении с источниками ионизирующего излучения.

Одной из основных проблем в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности является наличие объектов ядерного наследия (выведенные из эксплуатации реакторы атомных подводных лодок, надводные корабли с ядерной энергетической установкой, суда атомного технологического обслуживания, места проведения мирных ядерных взрывов, действующие и законсервированные уранодобывающие производства), в отношении которых требуется принятие дополнительных мер по завершению их жизненного цикла и (или) реабилитации, в том числе перевод этих объектов в ядерно и радиационно безопасное состояние и реабилитация радиоактивно загрязненных участков территорий, на которых расположены эти объекты.

Решение проблем «ядерного наследия» — одно из приоритетных направлений социально-экономического развития Российской Федерации и одна из важнейших задач в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Среди медицинских мероприятий обеспечения безопасности при ликвидации «ядерного наследия», заложенных к реализации в ФЦП ЯРБ-2, обозначены поддержание медико-дозиметрических регистров работников радиационно опасных предприятий, а также научно-методическое сопровождение работ в области медико-санитарного обеспечения радиационной безопасности при ликвидации «ядерного наследия».

Для практического достижения радиационной безопасности необходимо разработать пакет регулирующих документов, основанных на российском законодательстве и нормативных документах, с использованием рекомендаций МКРЗ и действующих международных стандартов и рекомендаций МАГАТЭ, принимая во внимание опыт регулирования, применяемый за рубежом, а также изучить механизмы воздействия радионуклидов на органы и системы человека, в частности, в настоящее время недостаточно научных данных о метаболизме и степени радиационной опасности актинидов, поступающих в организм человека в виде наночастиц, также малоизучены механизмы поведения альфа-излучающих наночастиц, депонированных в организме человека. Имеются лишь отдельные публикации, указывающие на их существование.

Проведенные исследования и новые разработки способствуют решению одной из наиболее важных проблем обеспечения безопасности населения и окружающей среды в части, касающейся радиационной защиты населения и предотвращения загрязнения окружающей среды, включая территории в зоне действия радиационно опасных предприятий и мест расположения объектов ядерного наследия.

Ежегодно проводится комплексный мониторинг территорий, что имеет важное социальное значение, т. к. предотвращает опасения населения, часто необоснованные и чрезмерные, относительно источников радиационного загрязнения окружающей среды и среды обитания человека. Изданные информационные сборники о дозах облучения населения Российской Федерации дают объективную картину состояния радиационной безопасности во всех субъектах Российской Федерации и в России в целом и позволяют планировать и проводить целенаправленные оптимальные мероприятия по реализации основных требований Федерального закона «О радиационной безопасности населения». Наличие общедоступной, достоверной информации о дозах облучения населения от всех основных источников ИИИ обеспечивает реальную гласность в данной области и создает информационную основу для эффективной деятельности системы государственного регулирования радиационной безопасности в Российской Федерации.

Полученные результаты свидетельствуют о важном значении комплексной оценки условий обеспечения ядерной безопасности путем определения текущих и отдаленных радиологических последствий для граждан, подвергшихся радиационному воздействию. На основе данных медико-дозиметрических регистров персонала радиационно опасных предприятий исследована заболеваемость и смертность от различных болезней, потенциально индуцированных облучением, а также определен канцерогенный риск, на коэффициентах которого базируются нормы радиационной безопасности. Полученные данные являются научной основой для совершенствования стандартов радиационной безопасности для обеспечения надлежащей защиты персонала радиационно опасных объектов и населения близлежащих территорий.

Внедрение результатов позволит обеспечить надежный контроль радиационной безопасности и защиту населения от техногенного воздействия предприятий по добыче и переработке урановых руд и оценить их влияние на радиационную обстановку и состояние здоровья населения территорий ядерного наследия.

На территории России в подведомственных организациях ФМБА России создано 3 региональных аварийных медико-дозиметрических центра (РАМДЦ), участвующих в системе медицинского реагирования на радиационные и ядерные угрозы (АМРДЦ, СЗРАМДЦ и ЮУРАМДЦ). Основная деятельность РАМДЦ направлена на решение вопросов информационного, научно-методического, экспертно-аналитического сопровождения учреждений, находящихся в зоне ответственности центров, оценку их готовности и повышение эффективности организации их работы в случае возникновения и развития аварийных ситуаций на обслуживаемых объектах и территориях.

В рамках второго этапа Программы проведены мероприятия по поддержанию в готовности сил и средств АМРДЦ для решения задач по медико-санитарному обеспечению в случае чрезвычайных ситуаций радиационного характера, в т. ч. по поддержанию в рабочем состоянии (готовности) систем связи, технических и программных средств АМРДЦ для оказания информационно-аналитической поддержки территориальных органов и медицинских учреждений ФМБА России.

Ежегодно проводятся противоаварийные учения по отработке практических действий с территориальными органами, МСЧ и ЦГиЭ ФМБА России, применительно к вероятным радиационным авариям на территории зоны ответственности.

Достигнутые практические результаты способствуют повышению уровня противоаварийной готовности системы аварийного медицинского реагирования, медицинских учреждений ФМБА России и эффективности деятельности медицинского персонала, участвующего в ликвидации последствий ЧС радиационного характера на обслуживаемых объектах, что в свою очередь позволит минимизировать медико-санитарные последствия возможных радиационных аварий и инцидентов на радиационно опасных предприятиях.

8.4 Развитие государственного регулирования безопасности объектов использования атомной энергии

Совершенствование нормативной правовой базы в области использования атомной энергии

Совершенствование нормативной правовой базы в области использования атомной энергии направлено на:

- Обеспечение уровня защищенности работников (персонала) и населения от радиационного воздействия в соответствии с Санитарными правилами и нормативами СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)»;
- Недопущение выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду в количествах, превышающих нормативы предельно допустимых выбросов и допустимых сбросов, установленные в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- Предотвращение радиационных аварий и ограничение их последствий;
- Исключение применения в хозяйственной деятельности материалов (элементов) повторного использования, имеющих уровни радиоактивного загрязнения и (или) содержащих радионуклиды активностью выше пределов, установленных санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности;
- Обеспечение минимизации количества образующихся радиоактивных отходов.

По данному направлению Ростехнадзором с привлечением ФБУ «НТЦ ЯРБ» ежегодно проводился комплексный анализ ядерной и радиационной безопасности объектов и (или) видов деятельности в области использования атомной энергии, в частности:

- анализ опыта осуществления физической защиты радиоактивных веществ, радиоактивных отходов, радиационных источников и пунктов хранения;
- анализ опыта выявления нарушений в системах физической защиты радиоактивных веществ, радиоактивных отходов, радиационных источников и пунктов хранения на объектах использования атомной энергии;
- анализ действовавших требований нормативных правовых актов и практики их выполнения на радиационно опасных объектах;
- категоризация наиболее часто выявляемых нарушений в системах физической защиты радиоактивных веществ, радиоактивных отходов, радиационных источников и пунктов хранения.

Разработанные предложения по совершенствованию нормативной правовой базы в области использования атомной энергии в части регулирования безопасности при обеспечении физической защиты радиоактивных веществ, радиоактивных отходов, радиационных источников и пунктов хранения на радиационно опасных объектах по результатам выполненного комплексного анализа позволили Ростехнадзору привести требования федеральных норм и правил в области использования атомной энергии в части регулирования безопасности при обеспечении физической защиты радиоактивных веществ, радиоактивных отходов, радиационных источников и пунктов хранения на радиационно опасных объектах в соответствие с действующим законодательством Российской Федерации, современным уровнем развития науки, техники и производства, правоприменительной практикой и опытом эксплуатации объектов использования атомной энергии.

Надзор за учетом и контролем ядерных материалов, радиоактивных веществ, радиоактивных отходов

Одна из задач, выполняемых системой государственного учета и контроля ядерных материалов — обеспечение сохранности, своевременного выявления и предотвращения потерь, несанкционированного использования и хищения ядерных материалов. Кроме того, государственный учет и контроль ядерных материалов включает в себя сбор, регистрацию и анализ информации о количестве, качественном составе и перемещении ядерных материалов и осуществляется путем сплошного непрерывного документального учета всех хозяйственных и технологических операций с ядерными материалами на основе результатов измерений характеристик ядерных материалов, а также проверки достоверности этой информации по фактическому наличию ядерных материалов в местах их нахождения.

Функционирование системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов осуществляется, в том числе, с целью обеспечения сохранности объектов государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, за исключением радионуклидов, содержащихся в выбросах и сбросах в окружающую среду, на всех стадиях обращения с ними. Ведение государственного учета и контроля объектов государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов осуществляется путем сплошного непрерывного документального учета на всех этапах оборота объектов государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов.

При осуществлении ряда технологических операций в процессе обращения ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов периодически возникает необходимость в изменении их категории. Для того, чтобы принцип непрерывности учета и обеспечения сохранности ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов соблюдался и при их переводе из одной системы учета и контроля в другую, необходимо уделять внимание данным вопросам.

Разработанные Ростехнадзором и ФБУ «НТЦ ЯРБ» предложения по совершенствованию порядка перевода ядерных материалов в радиоактивные вещества и радиоактивные отходы позволят минимизировать ряд серьезных затруднений, возникающих у эксплуатирующих организаций при обеспечении учета и контроля в процессе перевода ядерных материалов, радиоактивных веществ и радиоактивных отходов в различные категории.

Надзор за учетом и контролем ядерных материалов, радиоактивных веществ, радиоактивных отходов осуществляется посредством проведения проверок (инспекций), на которых проверяется выполнение обязательных требований, в том числе требований законодательства, федеральных норм и правил в области использования атомной энергии, условий действий лицензии, а также посредством принятия предусмотренных законодательством Российской Федерации мер по пресечению выявленных нарушений.

В обобщенном виде сведения о нарушениях отражаются в квартальных отчетах межрегиональных территориальных управлений по надзору за ядерной и радиационной безопасностью Ростехнадзора. Информация из указанных отчетов о нарушениях в осуществлении учета и контроля ядерных материалов, радиоактивных веществ, радиоактивных отходов, выявленных на объектах использования атомной энергии при проведении проверок (инспекций), анализируется для выявления тенденций изменения состава и характера нарушений.

В рамках работы были разработаны методические подходы к оценке значимости и категоризации выявленных нарушений в системе государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов на основе анализа опыта выявления таких нарушений и подготовлены предложения по совершенствованию нормативной базы в области использования атомной энергии по регулированию безопасности в области учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов.

Объективная оценка значимости и единая категоризация выявленных нарушений в системе государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов способствует выработке Ростехнадзором корректных решений о принятии регулирующих действий и повышению эффективности реализации установленных полномочий в рамках федерального государственного надзора в области использования атомной энергии в отношении юридических лиц, осуществляющих деятельность в области использования атомной энергии.

9. НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАБОТ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

9 НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАБОТ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

9.1 Повышение эффективности обращения с РАО

На втором этапе реализации Программы продолжены исследования по поиску эффективных методов обращения с РАО сложного химического состава.

Разработан технический проект и рабочая конструкторская документация на установки выделения долгоживущих альфа-излучающих радионуклидов и их кондиционирования для комплекса цементирования среднеактивных радиоактивных отходов (КЦ САО) ФГУП «ПО «Маяк». В 2025 г. получена лицензия на эксплуатацию КЦ САО и запущено производство. Также в этом направлении разработаны:

- проект Единого отраслевого порядка сквозного процесса по переводу пунктов размещения особых радиоактивных отходов в пункты консервации особых радиоактивных отходов или пункты захоронения радиоактивных отходов и переводу пунктов консервации особых радиоактивных отходов в пункты захоронения радиоактивных отходов;
- научно-технические материалы по комплексному обоснованию безопасности российской практики глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов в виде препринта (пресс-релиза) «Реализация рекомендаций миссии МАГАТЭ «Международное экспертное рассмотрение практики глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов в Российской Федерации» и проекта книги «Практика глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов в Российской Федерации»;
- окончательная редакция проекта руководства по безопасности «Комментарии к федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии «Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения (НП-058-14)».

Для РАО в виде солевого плава проведена систематизация сведений о местах, объемах и характеристиках, находящихся на хранении на территории Российской Федерации, а также представлен прогноз его образования до 2030 года. Проведена оценка соответствия исследованных упаковок солевого плава критериям приемлемости для захоронения, и частным критериям приемлемости для ППЗРО в г. Новоуральск, г. Озерск и г. Северск. Разработаны сценарии деградации упаковок РАО в виде солевого плава при захоронении, проведен расчет времени деградации упаковки РАО и скорости выхода радионуклидов за её пределы после её разрушения и разработаны предложения по приведению упаковок РАО в виде солевого плава в соответствие критериям приемлемости (кондиционированию) для захоронения.

Для ПГЗРО проведены НИР по определению концентраций насыщения выщелатов элементами РАО и матричными компонентами при взаимодействии модельных боросодержащих стекломатриц и подземных вод и параметров миграции компонентов в глиняных барьерах безопасности и горных породах после выщелачивания в условиях ПГЗРО. В результате проведенной работы вначале исследованы характеристики исходных материалов, проведен синтез боросодержащих стёкол с имитаторами РАО, получены данные по химическому и радионуклидному составам и содержанию коллоидных частиц в выщелатах боросодержащих матриц в условиях, моделирующих ПГЗРО, получены исходные данные для проведения лабораторных, макетных и натурных экспериментов по миграции радионуклидов в материалах барьеров безопасности ПГЗРО и горных породах, определены концентрации насыщения матричных компонентов выщелатами и элементами РАО, а затем определены эффективные коэффициенты диффузии и коэффициенты сорбционного распределения радионуклидов и их имитаторов после выщелачивания из боросодержащих матриц в уплотненных глинистых барьерных материалах и трещинно-поровых растворах основных горных пород ПГЗРО.

В рамках поиска эффективных методов обращения с РАО сложного химического состава проведена разработка и обоснование вариантов обращения с ними. В 2025 г. утверждена дорожная карта по обращению с накопленными высокоактивными отходами сложного химического состава ФГУП «ПО «Маяк». Её цель — выбор технически реализуемого на современном уровне знаний и экономически обоснованного варианта обращения с НВАО, обеспечивающего эксплуатационную и долговременную безопасность на всех стадиях обращения с ними, включая расчётные научные исследования, опытно-конструкторские работы и опытно-промышленные испытания оборудования.

9.2 Создание цифровых информационных моделей ЯРОО

Реализация второго этапа ФЦП ЯРБ-2 потребовала качественно нового уровня информационного обеспечения работ по выводу из эксплуатации ЯРОО ядерного наследия, обращению с ОЯТ и РАО. Большинство объектов наследия эксплуатировалось в течение нескольких десятилетий: проектная и исполнительная документация по ним зачастую неполна, разрозненна и хранится в бумажном виде, при этом радиационная обстановка, конструктивные изменения и фактическое размещение оборудования существенно отличаются от первоначальных проектных решений.

Для устранения этого ограничения и формирования единой технико-экономической основы принятия решений по ВЭ ЯРОО, обращению с РАО и реабилитации территорий Госкорпорацией «Росатом» в 2019 году инициирован комплекс работ по созданию цифровых информационных моделей (ЦИМ) объектов ядерного наследия и площадок их размещения. К концу 2025 года технология получила нормативно-техническое закрепление в стандартах организации и сложившуюся методическую базу, а сама разработка ЦИМ стала обязательным элементом подготовительных работ перед проектированием вывода из эксплуатации. На всех объектах разрабатывается цифровая информационная инженерно-радиационная модель (ЦИРМ), интегрирующая в единое информационное пространство кроме геометрических, пространственных данных сведения о радиационной обстановке и технологическом состоянии объекта.

Главной целью разработки ЦИМ является создание единой цифровой основы для обоснования оптимальных решений по выводу из эксплуатации ЯРОО, обращению с накопленными РАО и реабилитации территорий, а также для проведения многовариантных расчётов в поддержку принятия управленческих решений в рамках реализации мероприятий Программы. ЦИМ объединяет в едином пространстве проектные, исполнительные, эксплуатационные данные и результаты обследований, обеспечивая прослеживаемость информации на всех этапах жизненного цикла объекта от завершения эксплуатации до приведения к конечному состоянию.

Для каждой разработанной ЦИМ решался следующий типовой комплекс задач:

- сбор, цифровизация и систематизация архивной проектной, конструкторской и исполнительной документации с формированием электронного архива по объекту;
- проведение натурных съёмок зданий, сооружений, конструкций и оборудования методом наземного лазерного сканирования (НЛС) с фотофиксацией;
- выполнение инженерного, радиационного и (при необходимости) химического обследования объектов и прилегающей территории;
- разработка трёхмерных моделей зданий, сооружений, инженерных систем и технологического оборудования с привязкой к ним атрибутивных, радиационных и эксплуатационных данных;
- разработка расчётных моделей миграции радионуклидов в геологической среде, атмосферного переноса, оценки доз облучения персонала и населения, оценки материальных потоков РАО при различных сценариях ВЭ;
- формирование вариантов конечных состояний объектов и обоснование стоимости работ по ВЭ для каждого из них.

Цифровые модели разрабатывались с использованием отечественного программного обеспечения, что обеспечивает их совместимость с современной российской BIM-инфраструктурой и переносимость в проектные организации. Одним из ключевых методов получения исходных пространственных данных при создании ЦИМ является наземная лазерная съемка, также называемая наземным лазерным сканированием. Наземная лазерная съемка (НЛС) — вид инженерно-геодезических изысканий, выполняемый с использованием наземных лазерных сканеров для получения высокоточного цифрового трехмерного пространственно-координатного описания объектов (промышленных зданий, сооружений, пунктов хранения РАО и т. п.). Результатом НЛС является трехмерная точечная модель объекта («облако точек»). Практика применения наземной лазерной съемки отходит от классических геодезических задач измерения объекта. Близкие задачи НЛС для объектов реализации ФЦП ЯРБ-2: обратное проектирование (построение цифровой модели и исполнительной документации по объекту на основе существующего объекта); инвентаризация объекта на основе решения задачи распознавания образов объектов (например, технологического оборудования) по точечной модели; оценка состояния объекта, включая выявление зон увлажнения, деградации материала; выявление деформационных процессов и др.

За пятилетний период работы ЦИМ выполнены на десяти предприятиях атомной отрасли в различных регионах Российской Федерации. Цифровые модели разработаны для зданий, сооружений и площадок, относящихся к первой очереди мероприятий по выводу из эксплуатации, а также для пунктов размещения РАО, требующих обоснования долговременной безопасности (ОДБ).

Радиохимическое производство АО «Радиевый институт имени В. Г. Хлопина» (г. Санкт-Петербург)

Разработаны ЦИМ для 18 зданий и сооружений на двух промышленных площадках. Сформированы электронный архив проектной и эксплуатационной документации, ЦИМ площадок и объектов, разработаны расчётные модели миграции радионуклидов для обеих площадок, модели оценки доз и атмосферного переноса (рисунок 123).



Рисунок 123 **Фрагмент ЦИМ площадки № 1 радиохимического производства АО «Радиевый институт имени В. Г. Хлопина»**

Московский филиал ФГУП «РАДОН» (бывшая площадка АО «ВНИИХТ»), г. Москва

Работы по созданию ЦИМ площадки выполнялись с марта 2022 года; в сентябре 2023 года модель была актуализирована по результатам дополнительных натурных обследований. Сформирован электронный архив проектной, конструкторской и эксплуатационной документации; выполнено наземное лазерное сканирование зданий и сооружений площадки (более 5500 станций сканирования).

Детальная (полная) информационная модель — с проработкой внутренних помещений, технологического оборудования и инженерных систем — разработана для четырёх ключевых корпусов площадки, для остальных зданий и сооружений площадки построены информационные модели в объёме генерального плана, архитектурно-строительной части и наружных сетей без детализации внутренней компоновки (рисунок 124). Результаты сканирования и атрибутивные данные интегрированы в единую ЦИМ площадки.



Рисунок 124 **Общий вид площадки Московского филиала ФГУП «РАДОН»**

НПК – Сергиево-Посадский филиал ФГУП «РАДОН»

Разработаны цифровые информационные модели для 10 ключевых зданий и сооружений Сергиево-Посадского филиала ФГУП «РАДОН». Выполнена цифровая инвентаризация объектов и площадок ядерного наследия филиала, сформирован электронный архив проектной и эксплуатационной документации, разработана базовая концепция цифрового двойника площадки для последующего сопровождения работ по обращению с РАО и поэтапному выводу из эксплуатации (рисунок 125).

Приволжский филиал ФГУП «РАДОН» (бывшая площадка Кирово-Чепецкого отделения ФГУП «ФЭО»)

Работы по созданию ЦИМ выполнены для 12 объектов (рисунок 126), включая сбор и оцифровку более 21 ГБ архивных документов, проведены натурные съёмки и измерения, на основе ЦИМ обоснована долговременная безопасность пунктов размещения особых РАО с учётом возможного размещения дополнительных объёмов РАО, образующихся при выводе из эксплуатации.

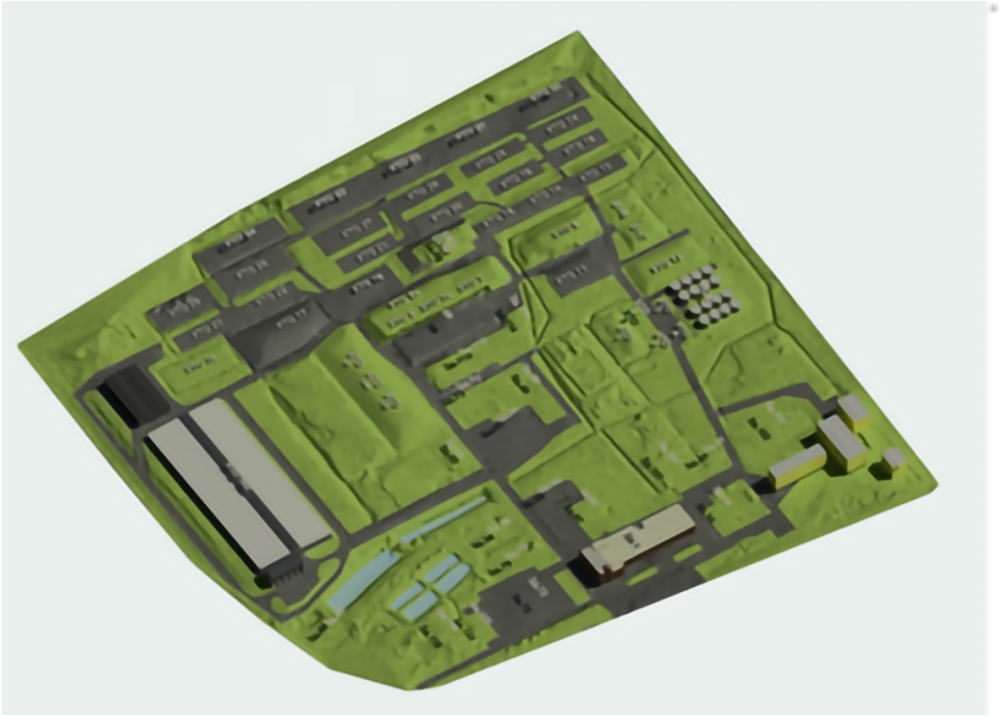


Рисунок 125 ЦИМ зданий и сооружений Сергиево-Посадского филиала ФГУП «РАДОН»

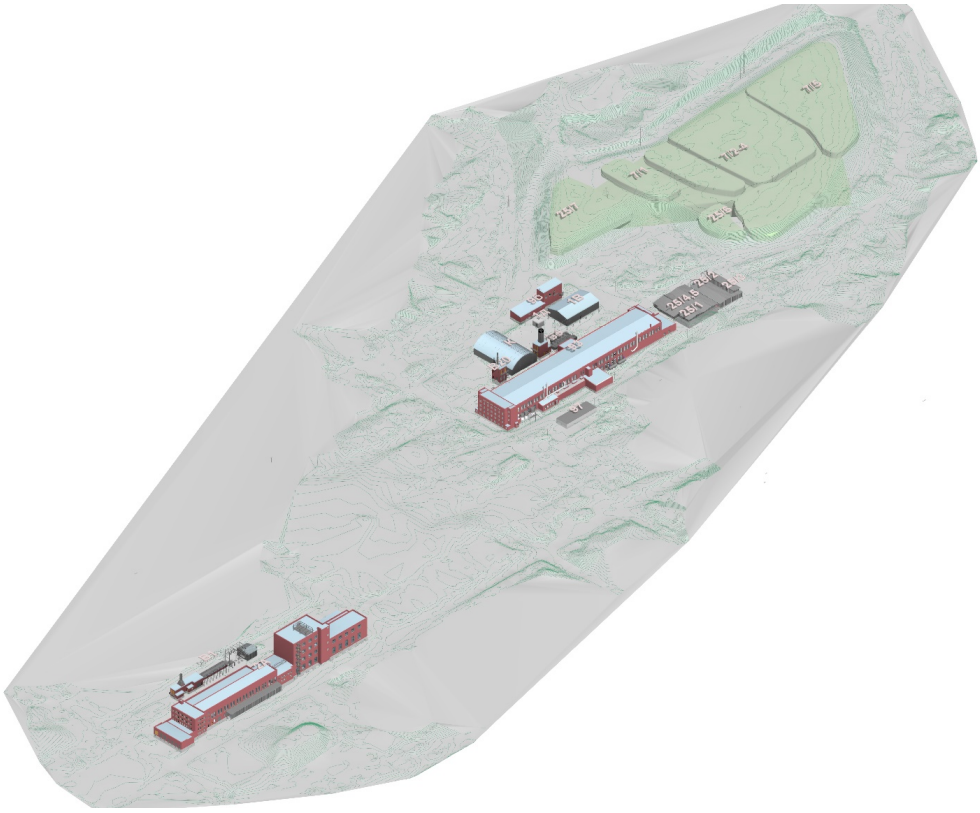


Рисунок 126 ЦИМ объектов производственной площадки Кирово-Чепецкого отделения

Производственная площадка ПАО «НЗХК»

Выполнены работы по созданию ЦИМ для ПАО «НЗХК» — ЦИМ 11 зданий и сооружений (рисунок 127). Разработана модель миграции радионуклидов от хвостохранилища и подготовлены рекомендации по организации работ по выводу из эксплуатации.

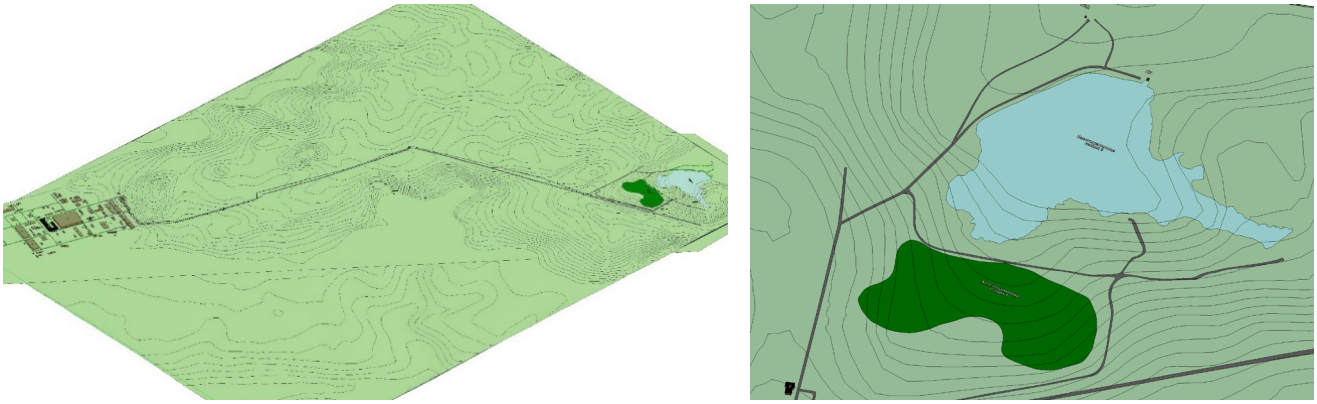


Рисунок 127 **ЦИМ производственной площадки ПАО «НЗХК»: общий вид площадки и фрагмент территории хвостохранилища**

Радиохимический комплекс бывшего ФГУП «РНЦ «Прикладная химия»

Выполнены работы по созданию ЦИРМ для радиохимического комплекса бывшего ФГУП «РНЦ «Прикладная химия» — ЦИРМ для 12 зданий и сооружений и эстакады технологических трубопроводов (рисунок 128). Работы выполнялись в два этапа: сбор данных и наземное лазерное сканирование — на первом этапе, разработка собственно ЦИРМ — на втором.

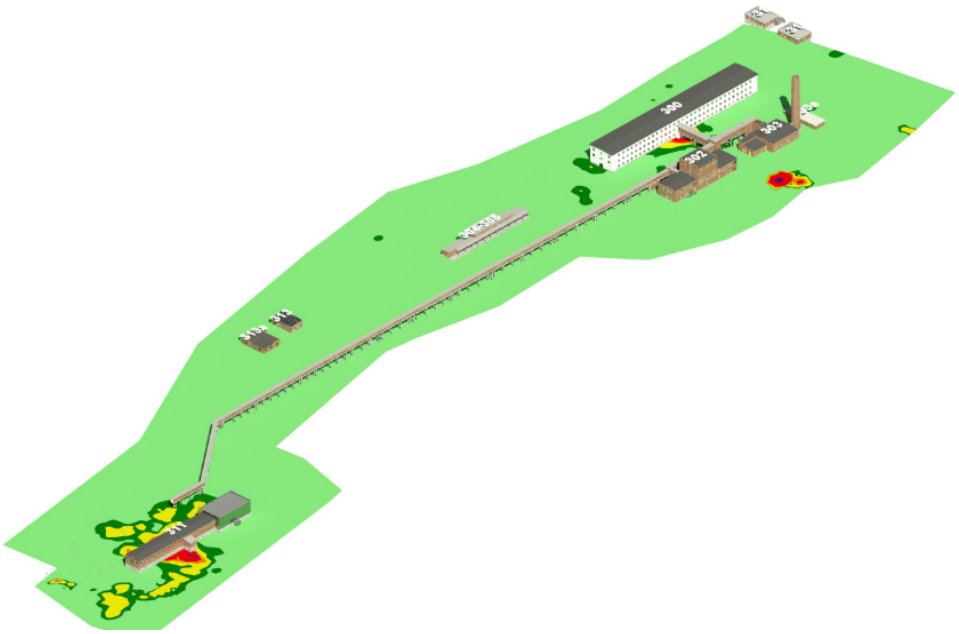


Рисунок 128 **ЦИМ радиохимического комплекса бывшего ФГУП «РНЦ «Прикладная химия»**

Промышленные площадки АО «ОДЦ УГР»

Разработаны ЦИМ 12 объектов промплощадок (рисунок 129). По итогам разработки модели сформированы предложения по консервации пунктов размещения особых РАО и обоснована безопасность работ по выводу из эксплуатации промышленного уран-графитового реактора АДЭ-3.

По итогам каждого этапа ЦИМ передавалась эксплуатирующей организации для использования при подготовке решений по консервации пунктов размещения особых РАО и проектированию работ по выводу из эксплуатации.

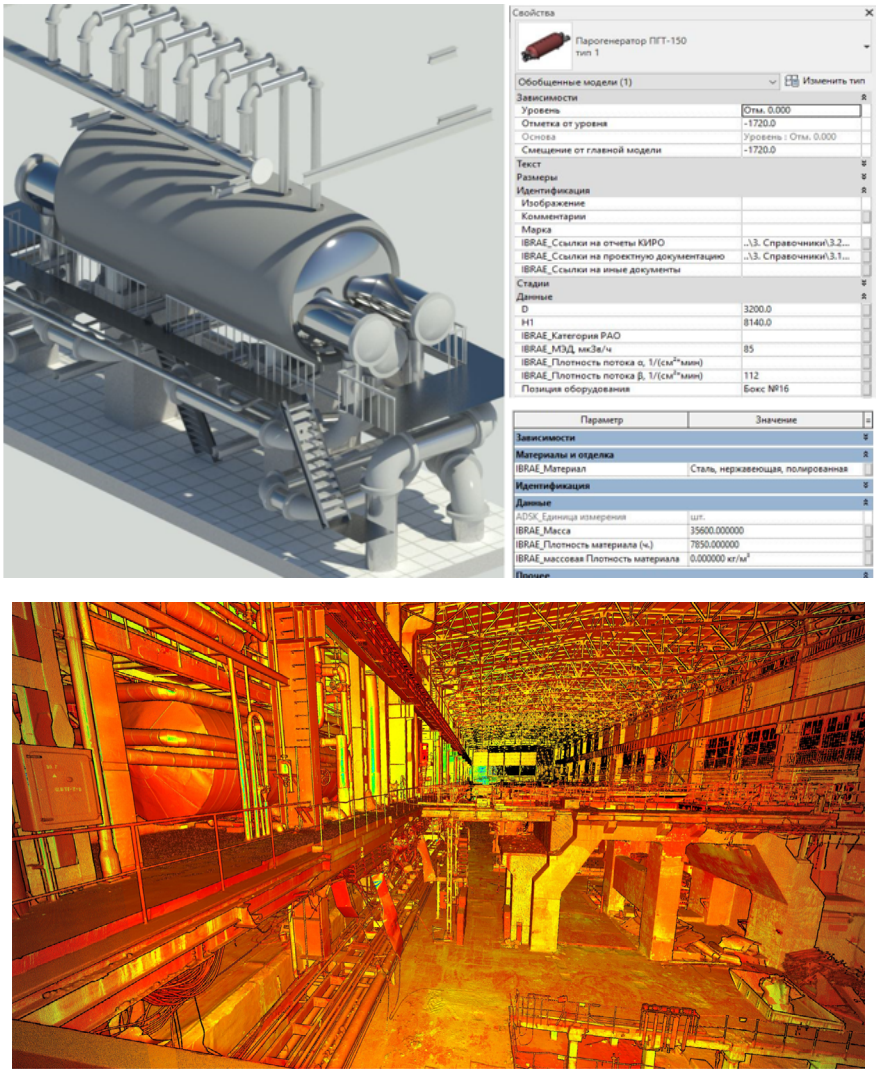


Рисунок 129 **Фрагменты ЦИМ промышленных площадок АО «ОДЦ УГР»**

Радиохимический завод ФГУП «ПО «Маяк»

На первом этапе работ выполнен сбор и анализ исторических, проектных и технологических данных по двум зданиям радиохимического завода (РХЗ), являющимся наиболее сложными с точки зрения радиационной безопасности объектами площадки (рисунок 130). На втором этапе создания ЦИМ для двух зданий радиохимического завода проведены дополнительные натурные приборные измерения, лазерное сканирование каньонов технологического оборудования измерения мощности дозы γ-излучения

и поверхностного радиоактивного загрязнения α- и β-излучающими радионуклидами. По результатам обследований уточнены сведения о технологическом оборудовании, его компоновке и фактическом радиационном состоянии, разработаны детализированные ЦИМ обоих зданий (рисунок 131).

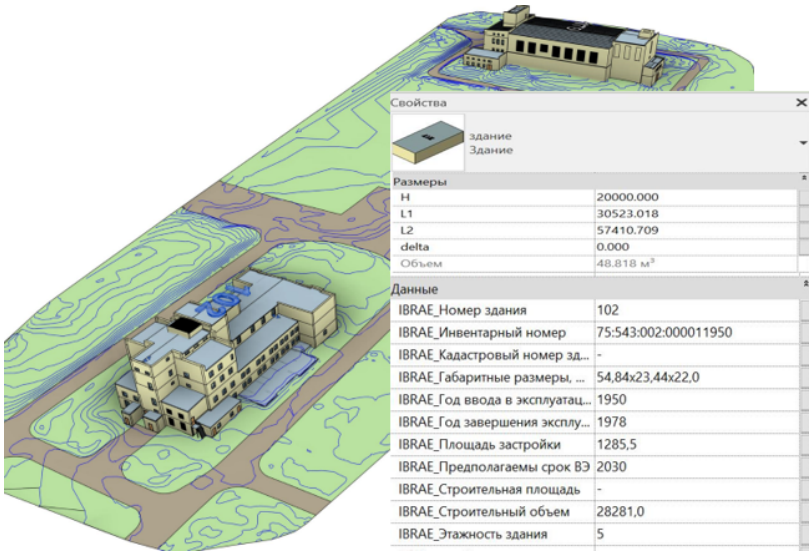


Рисунок 130 **ЦИМ площадки радиохимического завода ФГУП «ПО «Маяк» (первый этап работ)**

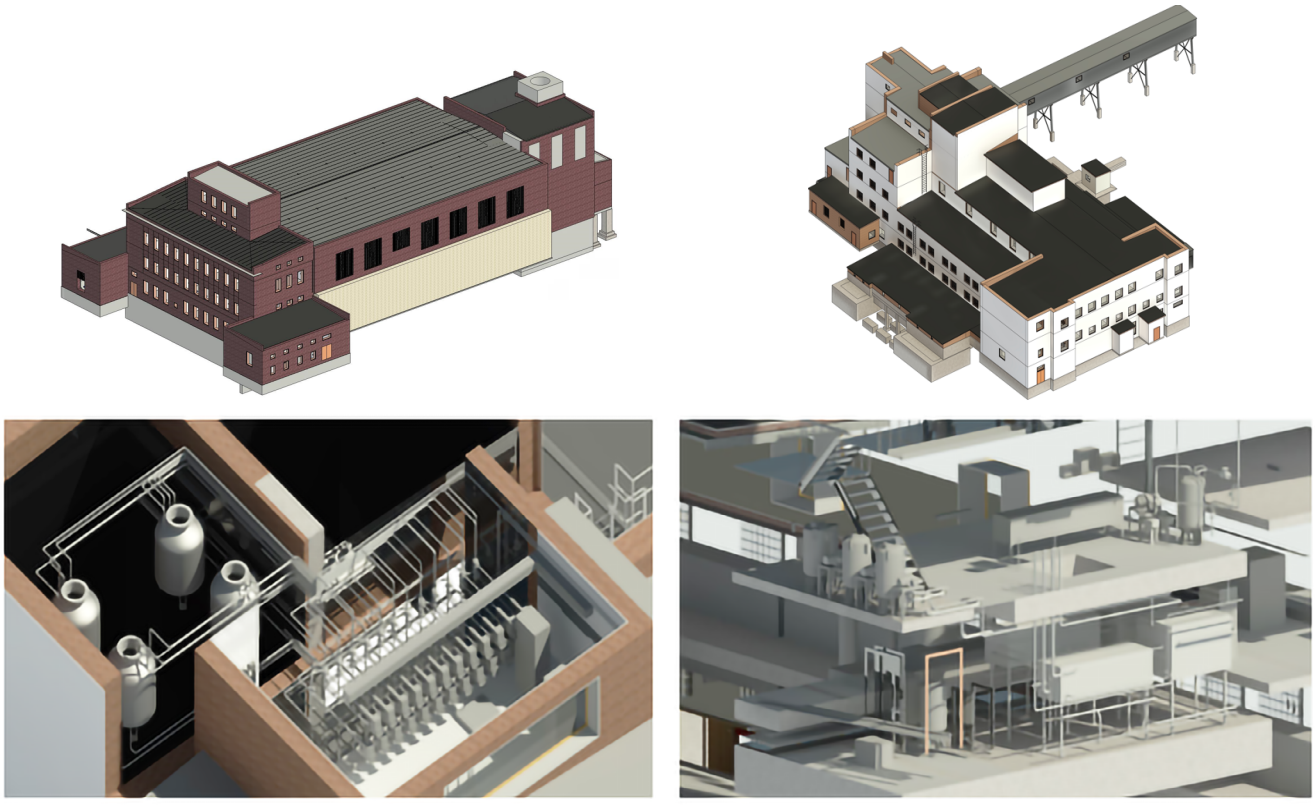


Рисунок 131 **ЦИМ зданий радиохимического завода ФГУП «ПО «Маяк»**

Пульпохранилища на площадке АО «СХК»

Разработан прототип цифрового решения для сбора, систематизации и хранения сведений по жизненному циклу пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО, реализованный для пульпохранилищ на площадке РХЗ АО «СХК». Создана ЦИМ площадки и пульпохранилищ, а также ЦИМ насосной станции; модели опубликованы в системе управления инженерными данными и связаны с данными комплексного инженерно-радиационного обследования (рисунок 132).

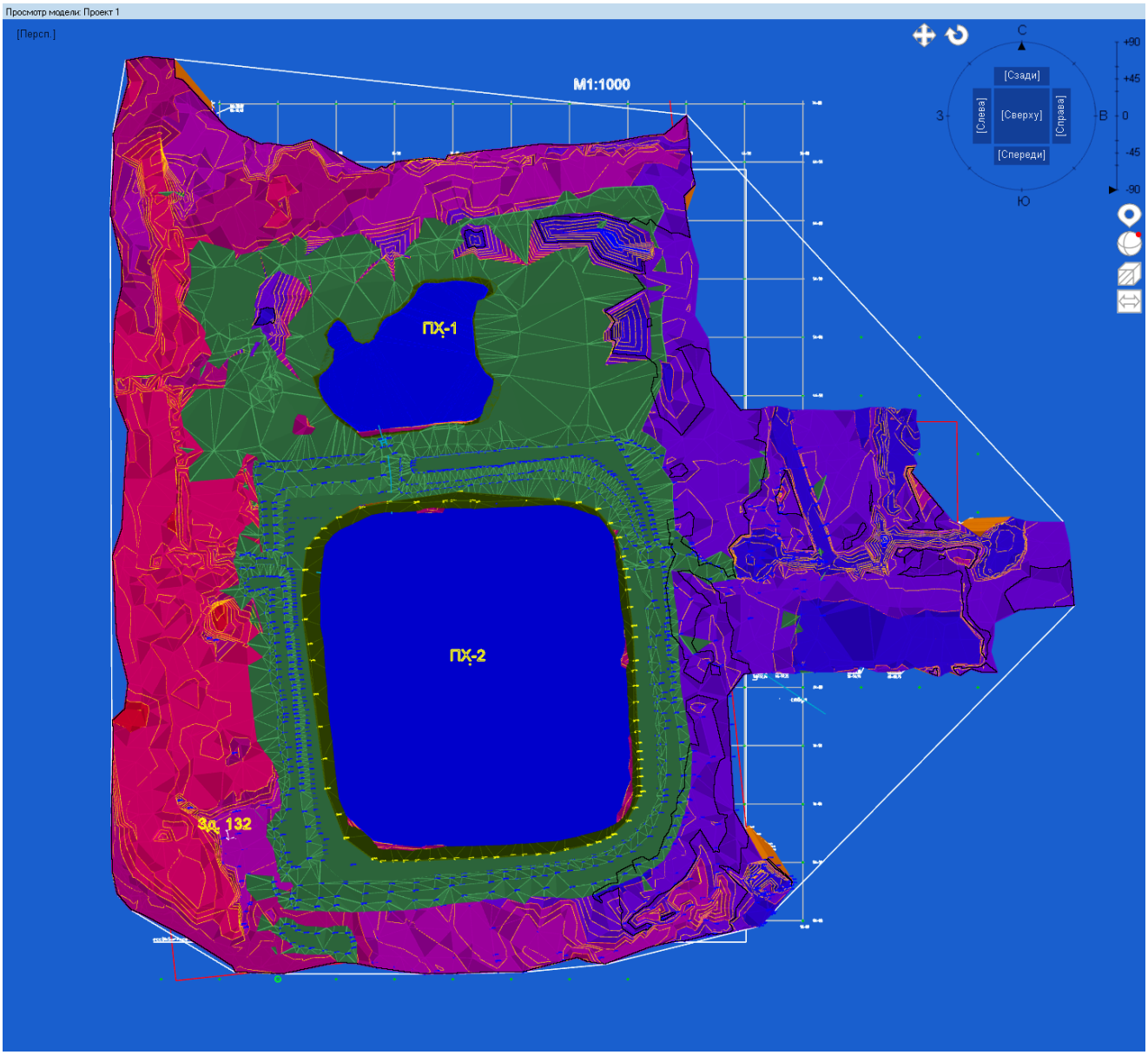


Рисунок 132 **ЦИМ пульпохранилищ на площадке АО «СХК»**

Реактор БР-10 АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»

В АО «ГНЦ РФ — ФЭИ» (г. Обнинск) создана ЦИМ здания исследовательского реактора БР-10, выполнена систематизация архивной документации, проведено дополнительное наземное лазерное сканирование (559 станций, 37,7 ГБ данных), разработаны модели архитектурно-строительной и инженерно-технологической части, модели реакторного зала, систем отопления, вентиляции, спецканализации.

Создание всех цифровых информационных моделей базировалось на результатах комплексных натурных обследований объектов, важнейшим элементом которых являлась наземная лазерная съемка.

В 2025 году на объектах апробирована методика НЛС для оценки состояния инженерных барьеров безопасности. Спецификой данного способа является оценка изменений по трехмерным точечным моделям различных временных периодов. Для этого апробирована геопривязка результатов НЛС к опорной сети, оптимизация построения сети съемки. В перспективе такими геодезическими пунктами долгосрочного наблюдения, совмещенными со знаками «радиационная опасность», важно оснащать ППЗРО после закрытия и задействовать в составе периодического радиационного контроля (рисунок 133). Результаты периодической лазерной съемки (фиксация текущего состояния, затем через 2 года и далее 1 раз в 5–10 лет) позволят сохранить полную картину состояния покрывающего барьера и соответственно сравнивать различные циклы наблюдений в динамике.

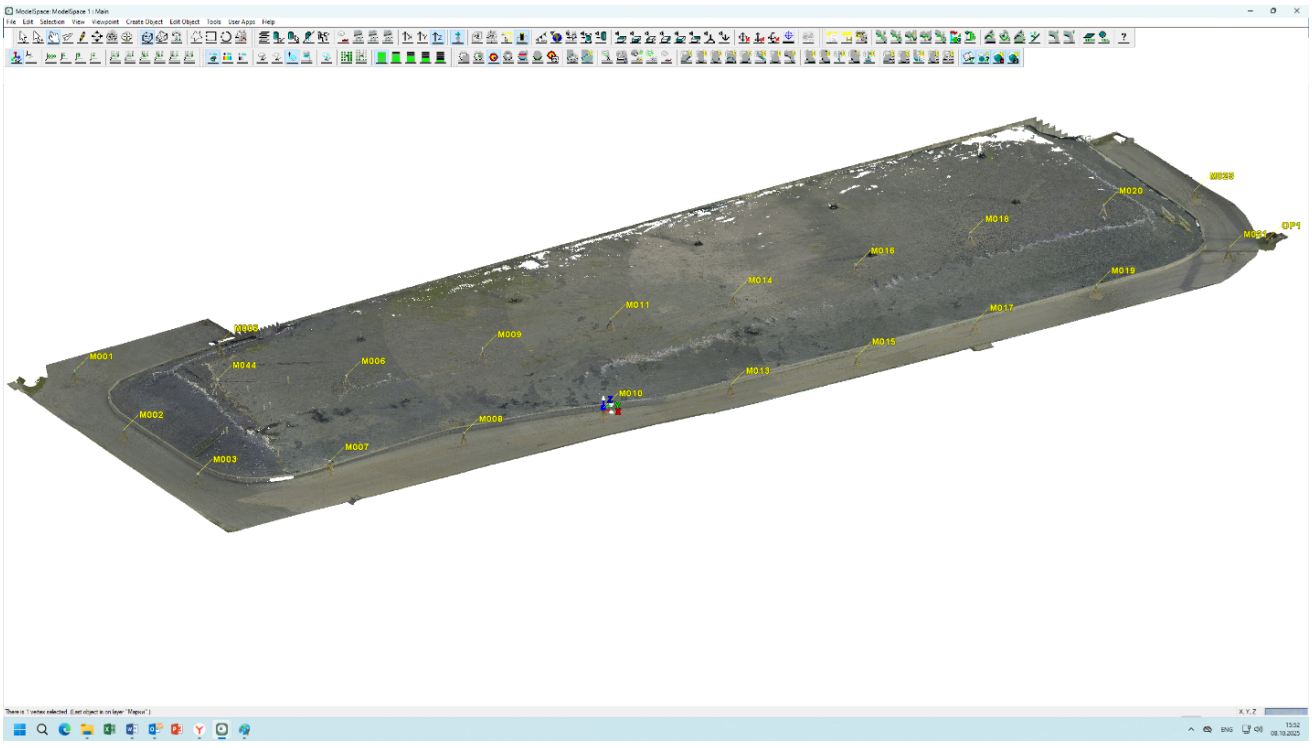


Рисунок 133 **Трехмерные точечные модели (облака точек) покрывающих экранов**

Данный подход отрабатывается на практике в рамках комплексного способа съемки ППЗРО различными методами неразрушающего контроля (георадарная съемка, радиационное обследование, наземная лазерная съемка).

9.3 Разработка и практическое внедрение кодов и расчетно-прогностических комплексов для обоснования безопасности объектов наследия, пунктов захоронения РАО и обеспечения безопасности населения и окружающей среды

При реализации ФЦП ЯРБ-2 разработана практическая методология комплексного обоснования безопасности объектов ядерного наследия и линейка расчетных программных комплексов (РПК). Разработанные расчетные коды покрывают все основные потребности для расчётной оценки безопасности ОИАЭ на завершающих стадиях их жизненного цикла (рисунок 134). Все расчетные коды линейки позволяют выполнять расчеты с использованием высокопроизводительных систем в параллельном режиме, обеспечивают средства пользовательского интерфейса и визуализации результатов расчетов.



Рисунок 134 **Линейка расчетных программных комплексов**

РПК FENIA

Программный комплекс для расчетов теплового режима, напряжённо-деформированного состояния и прочности объектов, в том числе, находящихся внутри вмещающей среды (РПК FENIA), позволяющий решать в трехмерной постановке следующие задачи:

- расчета изменения теплового режима различных объектов, как отдельных, так и находящихся внутри сплошной среды (рисунок 135);
- моделирования статического и динамического поведения конструкции и вмещающей сплошной среды, находящихся под воздействием силовых и тепловых нагрузок;
- оценки прочности элементов конструкции и вмещающей среды;
- расчета частоты и формы собственных колебаний упругих конструкций.

При выполнении моделирования возможен учет таких факторов, как:

- тепловыделение РАО (с учетом изменения во времени);
- статические и динамические воздействий объектов (силовых и температурных), которые могут возникать в процессе их функционирования;
- неоднородное пространственное распределение теплофизических и механических свойств материалов, а также их возможное изменение от времени (старение, деградация) и температуры;
- линейные (упругие) и нелинейные деформации различных типов в зависимости от материала и условий, а также поврежденность материалов, возникающую в процессе его деформирования;
- динамические воздействия (взрывные, сейсмические нагрузки) на здания и сооружения, находящиеся на или внутри породы.

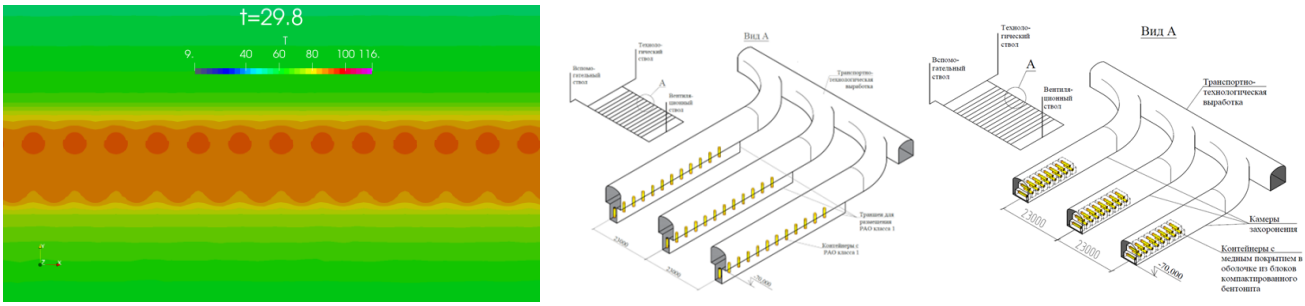


Рисунок 135 **Пример расчета теплового режима для возможного компоновочного решения для РАО класса 1 в ПГЗРО на участке Енисейский**

РПК GeRa

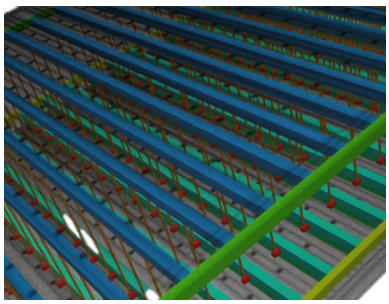
Программа для трёхмерного геофильтрационного и геомиграционного моделирования (РПК GeRa) позволяет осуществлять полный цикл расчётов миграции загрязнения: от источника загрязнения (модель ближней зоны захоронения) до мест разгрузки подземных вод (модель дальней зоны захоронения), обеспечивая возможность рассмотрения:

- фильтрации в напорном или напорно-безнапорном режиме, в условиях переменной насыщенности, а также в двухфазном режиме (вода-газ);
- переноса загрязнения процессами адвекции, диффузии, дисперсии, с учетом химических реакций и радиоактивного распада;
- плотностной и тепловой конвекции.

РПК GeRa обеспечивает дополнительные возможности, а именно:

- загрузку геологических данных из географической информационной системы;
- использование геостатистики для построения геологических слоев;
- использование неструктурированных адаптивных сеток (рисунок 136), а также сеточно-независимое задание параметров.

а



б

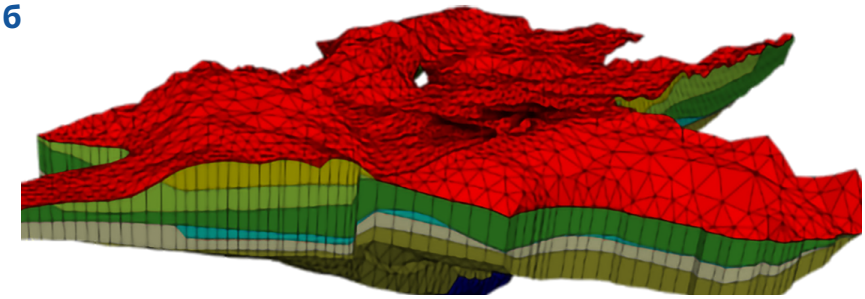


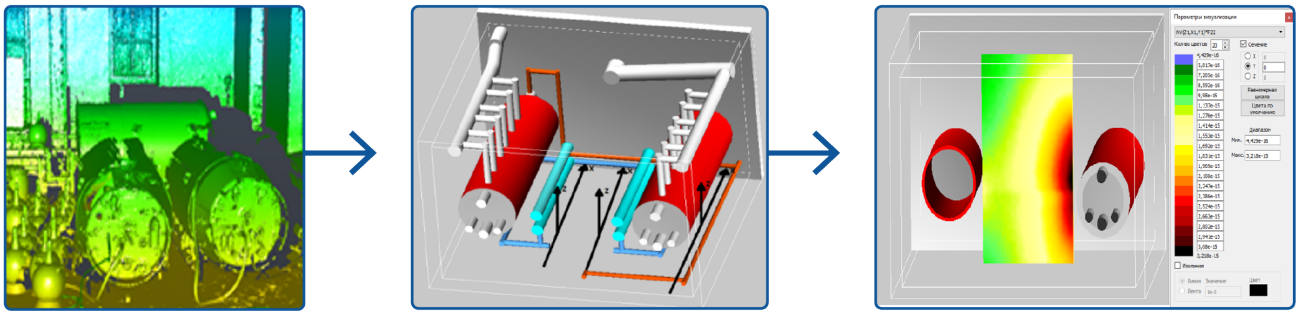
Рисунок 136 **Примеры неструктурированных адаптивных сеток: а) треугольная неструктурированная сетка для территории размещения ПГЗ ЖРО «Железногорский»; б) Фрагмент расчетной сетки трехмерной модели участка ПГЗРО Енисейский**

РПК КОРИДА

Программный комплекс для прогнозирования изменений радиационных характеристик ОЯТ и РАО, расчёта дозовых характеристик радиационных полей с оценкой воздействия на человека (РПК КОРИДА) позволяет решать следующие задачи:

- моделирование радионуклидных составов и радиационных характеристик источников ионизирующего излучения (в том числе, ОЯТ и РАО) с учетом неопределенностей в исходных данных;
- прогнозирование радиационной обстановки на объектах путем расчетов дозовых характеристик нейтронного и фотонного излучений ОЯТ и РАО в процессе обращения с ними;
- оптимизация конструкции защитного оборудования, контейнеров и заполнения их радиоактивными материалами

РПК КОРИДА имеет единую графическую среду, в рамках которой возможно проведение полного цикла моделирования: от построения модели и загрузки данных до визуализации результатов расчётов (рисунок 137).



Результат лазерного сканирования

Расчетная модель

Визуализация результатов расчётов

Рисунок 137 **Пример выполнения расчетов радиационной обстановки в сложной геометрии**

РПК ЭКОРАД

Программа для расчета нормативов допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты и оценки доз облучения для населения при различных сценариях водопользования и референтных видов биоты (РПК ЭКОРАД) предназначена для обеспечения возможности оценки параметров радиационного воздействия на человека и биоту (рисунок 138). РПК ЭКОРАД реализует расчётные методики Ростехнадзора и МАГАТЭ, а также позволяет учитывать:

- сценарии эволюции систем захоронения РАО и территории их расположения;
- влияние долгосрочного прогноза изменения климата на плодородие почв и, как следствие, на процессы накопления радионуклидов в растительной продукции.

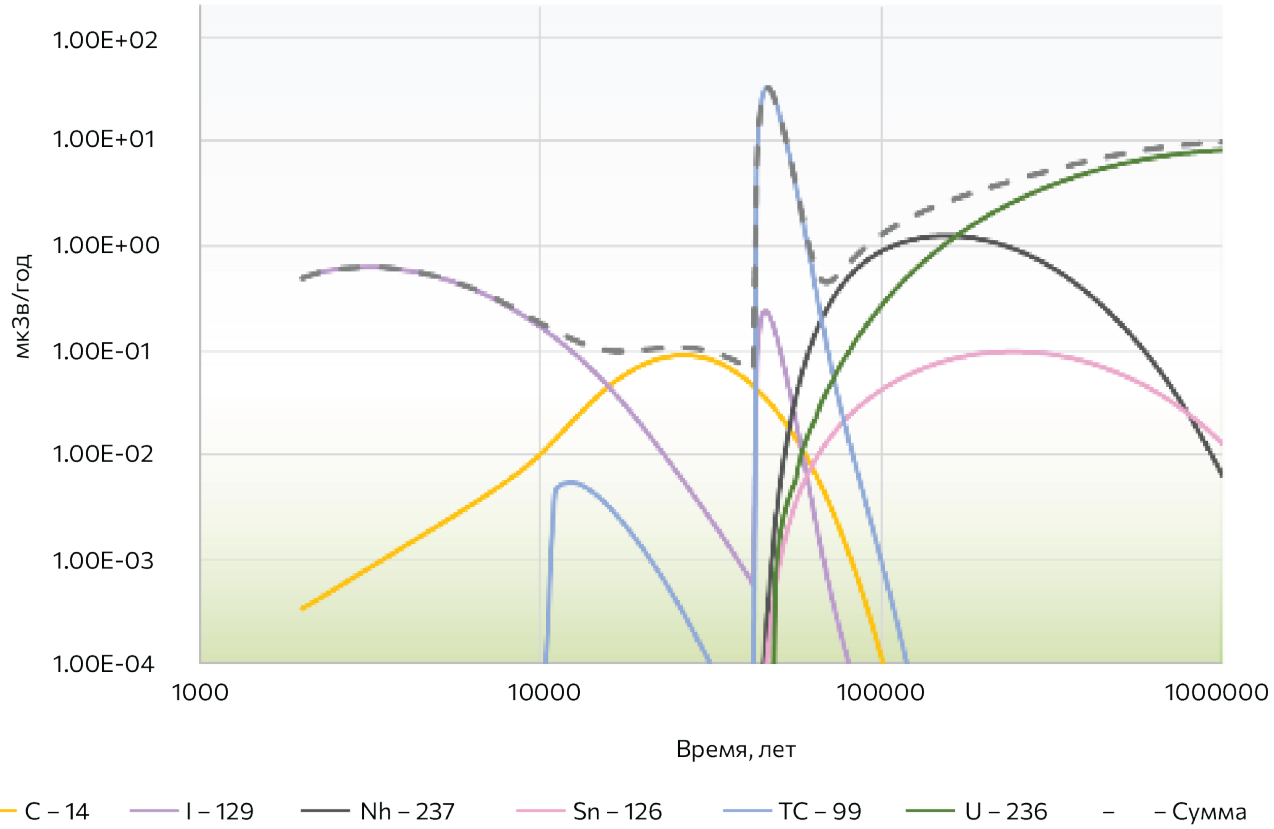


Рисунок 138 **Динамика дозы облучения в условиях референтного водопользования**

РПК RELTRAN

Программный комплекс для задач обоснования безопасности ОЯН в случае атмосферных радиоактивных выбросов при нормальной эксплуатации и в аварийных условиях (РПК RELTRAN) позволяет осуществлять полный цикл моделирования радиационных последствий атмосферных радиоактивных выбросов: от оценки источника выброса на объекте использования атомной энергии (вентиляция, пылеподъем, демонтаж) до оценки доз для населения (рисунок 139). Код построен на базе лагранжевой модели атмосферной дисперсии с учетом всех модификаций и усовершенствований модели и перенесен на современную технологическую платформу (сервис-ориентированная архитектура с применением web-технологий). В РПК RELTRAN реализовано сопряжение моделей оценки источников выброса с метеорологическими моделями.

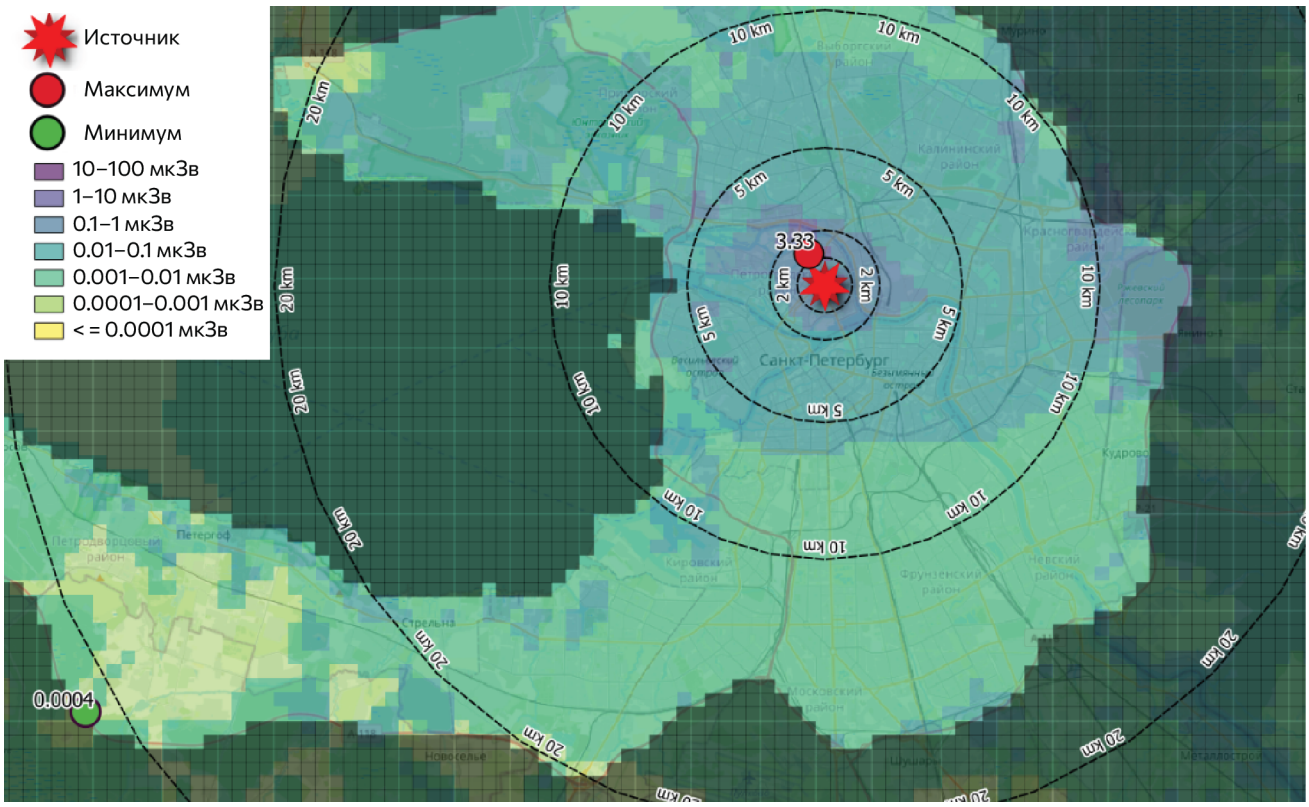


Рисунок 139 **Пример оценки дозовой нагрузки на население в результате выброса радиоактивного загрязнения в атмосферу**

РПК MOUSE

Расчетный комплекс для оценки чувствительности и неопределенности расчетных моделей для оценки безопасности пунктов захоронения (РПК MOUSE) предназначен для обеспечения работы с неопределенностями при выполнении расчетного моделирования в процессе оценки безопасности объектов ядерного наследия и пунктов захоронения РАО. Это реализуется посредством варьирования неточно известных значений входных параметров расчетной модели в заданных диапазонах (или в соответствии с заданной функцией распределения) и анализа получаемых результатов модельного расчета, а именно:

- оценки характеристик неопределенности: процентили, разброс оценки среднего, функция распределения, вероятность превышения заданного значения и т. п. (рисунок 140(а));
- оценки чувствительности модели к ее входным параметрам с целью выделения наиболее значимых или не значимых параметров (рисунок 140(б)). Для этого могут быть использованы методы глобального анализа чувствительности: вариационные (индексы Соболя, FAST), плотностные (PAWN), возмущений (метод Морриса), корреляционные (методы Пирсона, Спирмана, линейная и ранговая регрессия, метод частичной ранговой корреляции).

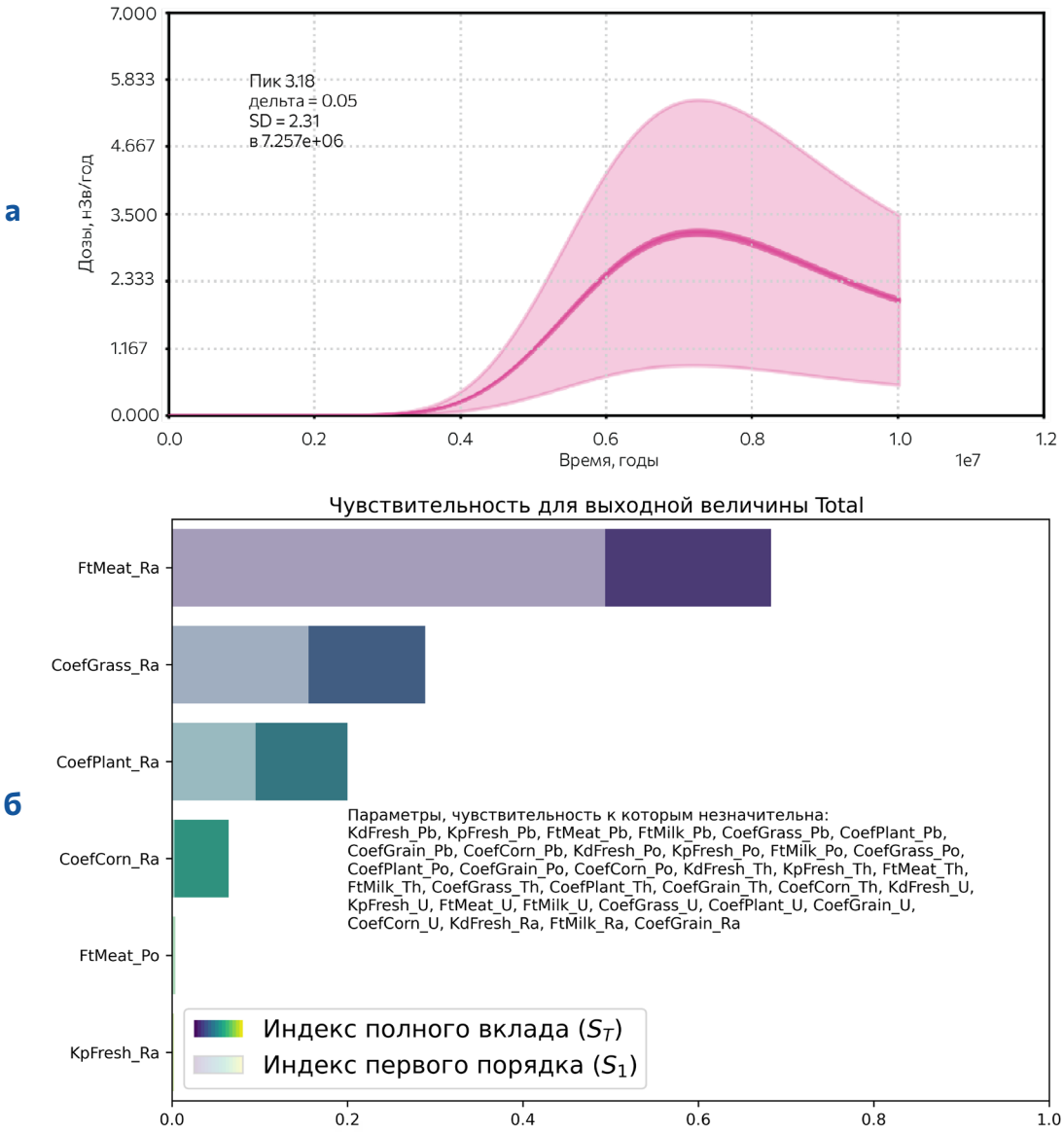


Рисунок 140 **Оценка неопределенности (а) и анализ чувствительности (б) дозовых нагрузок**

Кроме того, РПК MOUSE реализует возможность калибровки параметров расчетных моделей при наличии соответствующих данных измерений. Для калибровки реализован набор эвристических оптимизационных алгоритмов.

РПК MOUSE взаимодействует со всеми кодами разрабатываемой линейки.

Практическое внедрение расчетных кодов и расчетно-прогностических комплексов

Разработанные расчетные коды были успешно использованы для решения практических задач в рамках реализуемых проектов, описанных в данном отчете, в том числе:

- обоснование стратегии вывода из эксплуатации отдельных зданий ФГУП «ПО «Маяк»;
- анализ вариантов вывода из эксплуатации пульпохранилищ АО «СХК» и размещения в них дополнительных РАО;

- оценка объемов РАО, образующихся при ВЭ энергоблоков АЭС;
- оценка безопасности мероприятий по выводу из эксплуатации площадки Московского филиала ФГУП «РАДОН»;
- оценка безопасности работ по выводу из эксплуатации объектов на площадках АО «АЭХК», АО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина»; Приволжского филиала ФГУП «РАДОН»; ПАО «НЗХК»;
- оценка объемов РАО, образующихся при переработке отработавших тепловыделяющих сборок различных типов реакторных установок с различными временами выдержки, обогащением и выгоранием топлива.

К настоящему времени закрыты основные потребности оперативного импортозамещения, ведётся системная работа по развитию системы расчётных кодов.

Разработанные РПК внедрены на предприятия отрасли и в ведущие профильные ВУЗы страны, за период 2021–2025 г получено более 50 актов о внедрении.

В рамках развития кодов подготовлены модификации структуры и развития функциональных возможностей пяти базовых РПК: GeRa, MOUSE, RELTRAN, FENIA и КОРИДА разработаны вспомогательные модули, объектно-ориентированные версии и базы данных. Всего за второй этап реализации Программы получено более 40 свидетельств государственной регистрации о результате интеллектуальной деятельности.

9.4 Совершенствование оценок безопасности

В рамках оценки безопасности объектов ядерного наследия по заказу Госкорпорации «Росатом» выпущено 30 отчетов, содержащих результаты по оценке безопасности видов деятельности в области использования атомной энергии и объектов ядерного наследия, усовершенствованы методы комплексного анализа ядерной и радиационной безопасности объектов использования ядерной энергии.

Совершенствование механизмов функционирования информационно-аналитического центра Ростехнадзора.

Существенной особенностью ИАЦ Ростехнадзора, которую необходимо учитывать в рамках его развития, является то, что задачи и организационная структура ИАЦ Ростехнадзора предполагают выполнение максимально оперативных оценок возможных неблагоприятных радиационных последствий для населения в случае аварий на любых объектах использования атомной энергии (в том числе при транспортировании отработавшего ядерного топлива по территории Российской Федерации), когда связанные с этой деятельностью радиационные риски воспринимаются населением особенно остро.

Для целей развития и информационного обеспечения ИАЦ Ростехнадзора для различных ОИАЭ разрабатывается расчетный и аналитический инструментарий. В период 2021–2025 годы были разработаны 17 отчетов по разработке:

- альбомов проектных и запроектных аварий на ФГУП «ГХК», ФГУП «ПО «Маяк», ФГУП «РАДОН», АО «СХК», плавучем энергетическом блоке «Академик Ломоносов», атомных ледоколах проекта 22220, исследовательских ядерных реакторах;
- расчетных моделей экспресс-оценки состояния энергоблоков АЭС, в том числе, бассейнов выдержки отработавшего ядерного топлива (Балаковская АЭС, Калининская АЭС, Ростовская АЭС, Ленинградская АЭС-2, Нововоронежская АЭС-2, Смоленская АЭС, Белоярская АЭС);
- библиотек распределения радионуклидов по помещениям АЭС с ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200 (Нововоронежская АЭС, Нововоронежская АЭС-2, Калининская АЭС, Кольская АЭС, Ленинградская АЭС-2).

Расчетные модели экспресс-оценки состояния энергоблоков АЭС, альбомы проектных и запроектных аварий, библиотеки распределения радионуклидов по помещениям АЭС внедрены в деятельность ИАЦ Ростехнадзора.

Расчетные модели экспресс-оценки состояния энергоблоков АЭС, альбомы проектных и запроектных аварий, библиотеки распределения радионуклидов по помещениям АЭС могут быть использованы членами рабочих групп ИАЦ Ростехнадзора при функционировании ИАЦ Ростехнадзора в режиме чрезвычайной ситуации — режиме аварийного реагирования для получения необходимой информации при возникновении аварии на объектах ЯТЦ.

Опираясь на результаты применения вышеуказанных разработок, члены рабочих групп ИАЦ Ростехнадзора проводят оценку действий эксплуатирующей организации при проведении противоаварийных тренировок и учений и имеют инструментарий для выполнения таких оценок при возможных авариях.

Обращение с неперерабатываемыми РАО

На радиохимических предприятиях по переработке облученных материалов накопилось большое количество РАО, способы обращения с которыми, в том числе методы кондиционирования, в полной мере не определены. К таким РАО относится отработавшая органическая экстракционная смесь, ионообменные материалы, пульпы и шламы. При этом предлагается большое количество различных методов обращения с такого рода отходами, в ряде стран существуют опытные установки по переработке органических РАО, однако основное количество РАО в настоящее время хранится на радиохимических предприятиях. Для целей независимой оценки безопасности предлагаемых методов по обращению с неперерабатываемыми в настоящее время РАО радиохимических производств необходимо было систематизировать сведения по объемам накопленных и образующихся РАО, провести анализ существующих и перспективных технологий по обращению с такими РАО, в том числе методы долговременного хранения, кондиционирования, а также выработать рекомендации регулирующего органа по повышению уровня безопасности.

В период 2022–2023 годы организацией научно-технической поддержки Ростехнадзора ФБУ «НТЦ ЯРБ» был выполнен анализ и оценка обеспечения безопасности при обращении с отработавшими экстракционными смесями и ионообменными материалами, пульпами и шламами радиохимических производств, в том числе проанализиро-

ваны отечественные и международные практики обращения с неперерабатываемыми РАО радиохимических производств, включая применяемые технологические решения, подходы к кондиционированию, хранению и захоронению. Выполнен анализ результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке методов обращения с такими РАО, в том числе с учетом их физико-химических особенностей. Кроме того, была выполнена оценка обеспечения безопасности на всех этапах обращения с ними, включая сбор, временное хранение, кондиционирование, транспортирование и захоронение.

При проведении оценки особое внимание уделено потенциальным источникам радиационного и химического воздействия на персонал, население и окружающую среду, а также факторам, влияющим на долговременную безопасность при захоронении данных отходов.

По результатам проведенных анализа и оценки сформированы обоснованные выводы и разработаны рекомендации по установлению требований к обеспечению безопасности при обращении с неперерабатываемыми РАО.

Обращение с РАО в виде солевого плава

На части атомных электростанций России накоплено несколько тысяч кубометров РАО в виде солевого плава, образующегося при переработке жидких РАО методом глубокого упаривания.

С целью временного хранения солевой плав размещается в первичные упаковки (бочки объемом около 200 л), срок службы которых не превышает 30 лет. В соответствии с действующей классификацией солевой плав относится к РАО 3 и (или) 4 классов, подлежащим захоронению в ППЗРО. С целью последующего захоронения первичные упаковки, как правило, размещаются в железобетонные контейнеры типа НЗК. При этом, РАО в виде солевого плава характеризуются негативными факторами, влияющими на обеспечение безопасности при захоронении ППЗРО, такими как:

- наличие кристализационной влаги (до 34 масс. %) и свободной жидкости (более 3 %);
- высокое содержание солей (минерализация более 300 г/кг).
- высокая растворимость солевого плава и, соответственно, содержащихся в нем радионуклидов, в связи с чем стабилизация РАО должна обеспечиваться за счет снижения растворимости и подвижности радионуклидов.

Анализ экспертиз обоснования безопасности сооружения ППЗРО показал недостаточность обоснования безопасности при захоронении РАО в виде солевого плава, в связи с чем вопросы обеспечения безопасности при захоронении таких РАО требуют комплексного рассмотрения и обоснования на всех стадиях обращения с отходами — от их кондиционирования и временного хранения до последующего захоронения.

В ходе выполнения работ проведены анализ нормативных документов по захоронению РАО в виде солевого плава в Российской Федерации, анализ практики накопления и обращения с такими РАО. Разработаны предложения по возможному совершенствованию нормативных правовых актов в части регулирования захоронения РАО в виде солевого плава.

10. ПУБЛИЧНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПРОГРАММЫ

10 ПУБЛИЧНОСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ МЕРОПРИЯТИЙ ПРОГРАММЫ

В ряду важнейших задач управления Программой стоит повышение открытости и прозрачности реализации ее мероприятий. Обеспечение публичности ФЦП ЯРБ-2 вносит существенный вклад в общественную приемлемость выполняемых работ, повышает конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность атомной отрасли. В условиях повышенного внимания со стороны экологических организаций, местных сообществ и средств массовой информации формирование доверительной коммуникационной среды становится неотъемлемым условием успешного достижения целевых показателей Программы.

В 2016 году с целью информирования отраслевого и экспертного сообщества, общественности и населения о реализации мероприятий Программы был создан интернет-портал фцп-ярб.рф — официальный сайт и основной информационный ресурс Программы (Портал) (рисунок 141). Портал регулярно наполняется новостным контентом, а также аналитическими и авторскими материалами, посвященными вопросам обеспечения ЯРБ и ликвидации накопленных проблем ядерного наследия. Все новости Программы также размещаются в официальных информационных каналах и социальной сети ВКонтакте (рисунок 142).

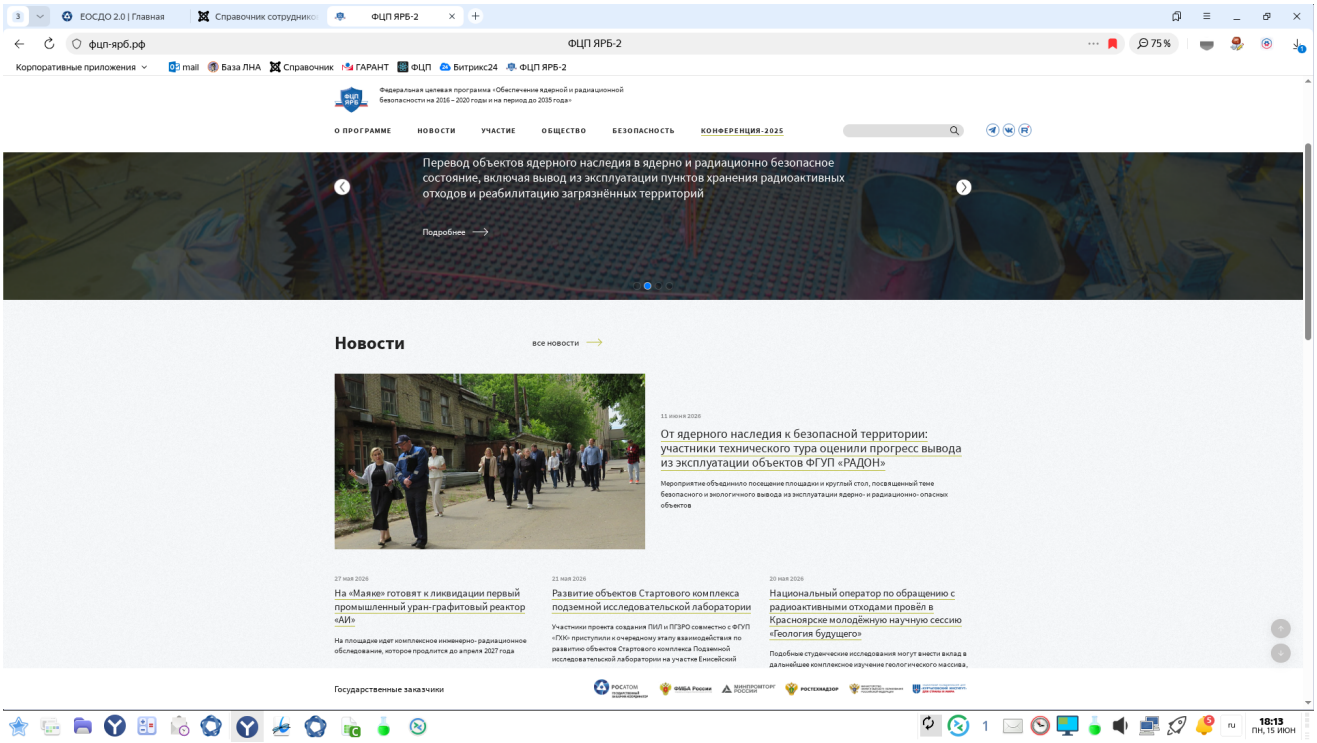


Рисунок 141 **Главная страница официального сайта Программы фцп-ярб.рф**

ftspportal

Рисунок 142 **Ссылки на официальные информационные каналы Программы**

Результаты Программы регулярно докладываются на крупных отраслевых российских и международных мероприятиях, в том числе:

- научная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях» (2021 год, 2025 год, Москва);
- конференция «Радиохимия» (2022 год, 2025 год);
- представление Национальных докладов Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Объединённой конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами (2022 год, 2025 год, МАГАТЭ, рисунок 143).



Рисунок 143 **Представление 7 Национального доклада Российской Федерации о выполнении обязательств, вытекающих из Объединённой конвенции о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами (март 2025, МАГАТЭ)**

Российская Федерация присоединилась к ряду международных конвенций в области использования атомной энергии. Концептуально в основу международных конвенций в области использования атомной энергии (в частности, Конвенции о ядерной безопасности) положено применение Договаривающимися сторонами широко признанных принципов и механизмов для достижения и поддержания высокого уровня безопасности в области использования атомной энергии во всем мире и представление национальных докладов о применении этих принципов и механизмов для рассмотрения на международном уровне. В национальных докладах приводится информация об изменениях, произошедших после представления последних национальных докладов, при одновременном представлении данных о выполнении всей совокупности обязательств, вытекающих из конвенций. Рассмотрение национальных докладов Договаривающимися сторонами организуется с регулярными интервалами.

Функции контроля выполнения обязательств, вытекающих из международных договоров Российской Федерации в области использования атомной энергии, возложены на Ростехнадзор, одна из задач которого направлена на получение объективного и доказательного обоснования постатейного выполнения Российской Федерацией обязательств, вытекающих из Конвенции о ядерной безопасности и Объединенной конвенции, в том числе в отношении объектов ядерного наследия в соответствии с рекомендациями к структуре национальных докладов, разработанными МАГАТЭ.

В рамках данной работы также выполнен анализ национальных докладов стран, принимавших участие в Совещаниях Договаривающихся сторон, итоговых документов таких Совещаний. Результаты анализа планируется использовать для дальнейшего совершенствования регулирующей деятельности Ростехнадзора и развития системы контроля за соблюдением норм ядерной и радиационной безопасности, обновления нормативно-правовой базы с учетом развития инновационных технологий.

Ключевые научно-практические достижения публикуются в профильных рецензируемых журналах: «Атомная энергия», «Вопросы атомной науки и техники», «Радиоактивные отходы», «Вопросы радиационной безопасности», «Ядерная и радиационная безопасность» и другие.

Важным направлением в обеспечении публичности ФЦП ЯРБ-2 является организация информационных мероприятий (технических туров) на площадки и объекты реализации Программы, а также проведение круглых столов по основным и смежным тематикам обеспечения ЯРБ. В рамках второго этапа ФЦП ЯРБ-2 организовано 13 информационных мероприятий, в которых приняли участие члены Федерального собрания Российской Федерации, Общественного совета Госкорпорации «Росатом», представители органов регулирования в области использования атомной энергии, предприятий-участников Программы, экологических, общественных организаций, местных администраций, экспертного и научного сообществ, а также СМИ.

Технические туры были организованы на ключевые объекты и площадки Программы (рисунок 144):

- пункты долговременного хранения и производства по переработке отработавшего ядерного топлива;
- пункты захоронения радиоактивных отходов;
- комплексы по переработке радиоактивных отходов;
- площадки вывода из эксплуатации объектов ядерного наследия;
- реабилитированные радиационно загрязненные территории.



Рисунок 144 **География технических туров на площадки реализации Программы в 2021–2025 годы**

Подобные мероприятия являются ключевым инструментом обеспечения открытости ФЦП ЯРБ-2: они позволяют представителям органов власти, общественности, экологам и СМИ лично убедиться в безопасности и результативности выполняемых работ, снимают необоснованные страхи, формируют доверие к отрасли и создают позитивный информационный фон, что напрямую ускоряет реализацию Программы за счет снижения социальных и административных барьеров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешная реализация Программы во многом была определена принятой структурой управления и постоянным развитием применяемых ею методов, доказавших на практике свою эффективность. Значимую роль сыграли принимаемые верные решения по управлению Программой. Основываясь на системе мониторинга реализации программных мероприятий, оперативному реагированию и отклику на внутренние или внешние вызовы обеспечена стабильность и достижение поставленных целей.

По итогам каждого года второго этапа Программы целевой индикатор и все целевые показатели были выполнены или перевыполнены. Доля решения накопленных проблем ядерного наследия на конец 2025 года составила 27,9 %.

Завершено создание второго пускового комплекса опытно-демонстрационного центра по переработке ОЯТ на ФГУП «ГХК».

Размещено на «сухое» хранение на ФГУП «ГХК» 60 % ОЯТ реакторов типа РБМК-1000 с Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС, накопленного на начало 2016 года; переработано на ФГУП «ПО «Маяк» ОЯТ различных типов реакторов общей массой 630,9 тонн (1113,5 тонн с 2016 года).

Завершено строительство двух модулей пунктов финальной изоляции РАО в городах Северск и Озерск. На ФГУП ПО «Маяк» введена в эксплуатацию электропечь ЭП-250/6 для переработки высокоактивных отходов и ведется строительство пункта их хранения.

Извлечены, переработаны, кондиционированы, приведены к критериям приемлемости для захоронения и переданы на захоронение 23,5 тысячи м^3 РАО (40 тысяч м^3 РАО с 2016 года).

Выведены из эксплуатации ПУГР АД и АДЭ-1 ФГУП «ГХК». Ликвидированы установка У-5, участок радиоактивного загрязнения № 9 и исследовательский корпус «Ж» АО «ВНИИНМ». Завершены работы по выводу из эксплуатации зданий №№ 802, 804 АО «АЭХК». Ликвидировано радиохимическое производство на территории Московского филиала ФГУП «РАДОН» (суммарно 64 объекта с 2016 года).

Разработана современная методология обоснования текущего состояния безопасности и долгосрочного прогноза для обоснования безопасности всех типов объектов ядерного наследия и на всех этапах работ, позволяющая снизить неопределенности и погрешности.

Успешное завершение второго этапа реализации Программы подтвердили ее высокую социальную значимость за счет последовательного безаварийного решения накопленных проблем ядерного наследия, регулярного снижения экологических рисков и создания новых высокотехнологичных рабочих мест на завершающих стадиях жизненного цикла ОИАЭ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Постановление Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2015 года №1248 «О внесении изменений в федеральную целевую программу «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016—2020 годы и на период до 2030 года».

[2] Указ Президента Российской Федерации от 13.10.2018 № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу».

[3] Распоряжение Правительства Российской Федерации от 06.10.2021 № 2816-р (ред. от 06.10.2025) «Об утверждении перечня инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года».

[4] https://фцп-ярб.рф/.

[5] Постановление Правительства Российской Федерации от 26 июня 1995 г. № 594 «О реализации Федерального закона «О поставках продукции для федеральных государственных нужд».

[6] Положение об управлении реализацией федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2035 года».

[7] Положение о Научно-координационном совете по управлению реализацией федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016—2020 годы и на период до 2035 года».

[8] Постановление Правительства Российской Федерации от 28 июня 2022 года № 1151 «О внесении изменений в федеральную целевую программу «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2035 года».

[9] Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов, утвержденная Госкорпорацией «Росатом» 28.03.2018.

СПИСОК АББРЕВИАТУР

АИС
Автоматизированная информационная система

АМБ
Реактор на тепловых нейтронах «Атом Мирный Большой»

АМРДЦ
аварийный медицинский радиационно-дозиметрический центр

АО «АЭХК»
Акционерное общество «Ангарский электролизный химический комбинат»

АО «ВНИИНМ»
Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара»

АО «ВНИИХТ»
Акционерное общество «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии»

АО «ГНЦ НИИАР»
Акционерное общество «Государственный научный центр — Научно-исследовательский институт атомных реакторов»

АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»
Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации — Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

АО «ИРМ»
Акционерное общество «Институт реакторных материалов»

АО «НИИП»
Акционерное общество «Научно-исследовательский институт приборов»

АО «НИФХИ им. Л. Я. Карпова»
Акционерное общество «Научно-исследовательский физико-химический институт имени Л.Я. Карпова»

АО «ОДЦ УГР»
Акционерное общество «Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых ядерных реакторов»

АО «СХК»
Акционерное общество «Сибирский химический комбинат»

АО «УЭХК»
Акционерное общество «Уральский электрохимический комбинат»

АСБТ
Автоматизированная система безопасности транспортировки

АСКРО
Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки

АЭС
Атомная электростанция

БВ
Бассейн выдержки

БН
Реактор на быстрых нейтронах

ВАО
Высокоактивные радиоактивные отходы

ВВЭР
Водо-водяной энергетический реактор

ВЛС
Воздушная лазерная съемка

ВЭ
Вывод из эксплуатации

ГРР
Геологоразведочные работы

ЕГС РАО
Единая государственная система обращения с РАО

ЖРО
Жидкие радиоактивные отходы

ИАЦ
Информационно-аналитический центр

ИББ
Инженерные барьеры безопасности

ИБРАЭ РАН
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук»

ИИИ
Источник ионизирующего излучения

ИР
Исследовательский реактор

ИТП
Индивидуальный тепловой пункт

КИРО
Комплексное инженерное и радиационное обследование

КП РАО
Комплекс по переработке радиоактивных отходов

КПП
Контрольно-пропускной пункт

КТ
Компьютерный томограф

КЦ САО
Комплекс цементирования среднеактивных радиоактивных отходов ФГУП «ПО «Маяк»

ЛПО «Алмаз»
Лермонтовское производственное объединение «Алмаз»

МАГАТЭ
Международное агентство по атомной энергии

МКРЗ
Международная комиссия по радиологической защите

МОРЗВ
Металлические отходы, загрязненные радиоактивными веществами

МРТ
Магнитно-резонансный томограф

МСЧ
Медсанчасть

МЭД
Мощность экспозиционной дозы

НАО
Низкоактивные радиоактивные отходы

НДС
Напряжённо-деформированное состояние

НИОКР
Научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа

НИР
Научно-исследовательская работа

НИЦ «Курчатовский институт»
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

НИЦ «Курчатовский институт» — ИТЭФ
Институт теоретической и экспериментальной физики имени А. И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

НИЯУ МИФИ
Национальный исследовательский ядерный университет «Московский инженерно-физический институт»

НКС
Научно-координационный совет Программы

НЛС
Наземная лазерная съёмка

НПК-СПФ
Научно-производственный комплекс Сергиево-Посадского филиала ФГУП «РАДОН»

НРБ
Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009»

НТС
Научно-технический совет

ОВАО
Остеклованные высокоактивные отходы

ОДБ
Обоснование долговременной безопасности

ОДИЦ
Опытно-демонстрационный инженерный центр

ОДЦ
Опытно-демонстрационный центр

ОИАЭ
Объекты использования атомной энергии

ОИИИ
Отработавший источник ионизирующего излучения

ОМСН
Объектный мониторинга состояния недр

ОСП
Особенности, события, процессы

ОСПОРБ 99/2010
Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности»

ОСУБ
Облучённые стандартные урановые блоки

ОТВС
Облучённые тепловыделяющие сборки

ОФР
Опытно-фильтрационные работы

ОЯТ
Отработавшее ядерное топливо

ПАО «НЗХК»
Публичное акционерное общество «Новосибирский завод химконцентратов»

ПАО «ППГХО»
Публичное акционерное общество «Приаргунское производственное горно-химическое объединение»

ПГЗ ЖРО
Пункт глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов

ПГЗРО
Пункт глубинного захоронения радиоактивных отходов

ПИЛ
Подземная исследовательская лаборатория

ПК
Пусковой комплекс

ППЗРО
Приповерхностный пункт захоронения радиоактивных отходов

ПУГР
Промышленный уран-графитовый реактор

ПХ
Пульпохранилище

ПХРО
Пункт хранения радиоактивных отходов

РАМДЦ
Региональный аварийный медико-дозиметрический центр

РАН
Российская академия наук

РАО
Радиоактивные отходы

РБМК
Реактор большой мощности канальный

РВ
Радиоактивные вещества

РЗТ
Радиационно загрязненные территории

РН
Радионуклиды

РПК
Расчетно-прогностический комплекс

РХЗ
Радиохимический завод

САО
Среднеактивные радиоактивные отходы

СИБ
Система инженерных барьеров

СИЗ
Средства индивидуальной защиты

СМИ
Средства массовой информации

СРЗ «Нерпа»
Судоремонтный завод «Нерпа» — Филиал Акционерного общества «Центр судоремонта «Звездочка»

СУЖО
Система управления жизненным циклом оборудования

ТВР
Тяжеловодный исследовательский ядерный реактор

ТВЭЛ
Тепловыделяющий элемент

ТКВ
Теченский каскад водоемов

ТРО
Твердые радиоактивные отходы

ТУК
Транспортный упаковочный комплект

УРЗ
Участок радиационного загрязнения

ФБУ «НТЦ ЯРБ»
Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»

ФГКУ «12 ЦНИИ»
Федеральное государственное казенное учреждение «12 Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации

ФГУП «Атомфлот»
Федеральное государственное унитарное предприятие «Атомфлот»

ФГУП «ГХК»
Федеральное государственное унитарное предприятие «Горно-химический комбинат»

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»
Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова»

ФГУП «НО РАО»
Федеральное государственное унитарное предприятие «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами»

ФГУП «ПО «Маяк»
Федеральное государственное унитарное предприятие «Производственное объединение «Маяк»

ФГУП «РАДОН»
Федеральное государственное унитарное предприятие «Объединенный эколого-технологический и научно-исследовательский центр по обезвреживанию РАО и охране окружающей среды»

ФГУП «РНЦ «Прикладная химия»
Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский научный центр «Прикладная химия»

ФГУП «РФЯЦ — ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина»
Российский Федеральный Ядерный Центр — Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики»

ФГУП «ФЭО»
Федеральное государственное унитарное предприятие «Федеральный экологический оператор»

ФМБА России
Федеральное медико-биологическое агентство

ФЦП ЯРБ
Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года»

ФЦП ЯРБ-2, Программа
Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016—2020 годы и на период до 2035 года»

ХЖО
Хранилище жидких РАО

ХМЗ
Химико-металлургический завод

ХОТ
Хранилище отработавшего ядерного топлива

ХТРО
Хранилище твердых РАО

ЦГиЭ
Центр гигиены и эпидемиологии

ЦИМ
Цифровая информационная модель

ЦИРМ
Цифровая информационная инженерно-радиационная модель

ЦС «Звездочка»
Акционерное общество «Центр судоремонта «Звездочка»

ЯРБ
Ядерная и радиационная безопасность

ЯРОО
Ядерно и радиационно опасные объекты

ЯТЦ
Ядерный топливный цикл

Работы по реализации мероприятий Программы выполнены при координации директора по государственной политике в области ОЯТ, РАО и ВЭ Госкорпорации «Росатом» Тинина В. В. и при участии:

Абрамова А. А. — заместителя директора по государственной политике в области ОЯТ, РАО и ВЭ — начальника Управления технической политики в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО

Тихоновой А. А. — начальника Управления программ ядерного наследия

Дорофеева А. Н. — руководителя проектного офиса «Формирование единой государственной системы обращения с РАО»

Иванова К. В. — руководителя проектного офиса «Формирование системы обращения с ОЯТ»

Соловьева Д. В. — руководителя проектного офиса «Вывод из эксплуатации ЯРОО»

Государственных заказчиков :

Минобрнауки России, Минпромторга России, Ростехнадзора, ФМБА России, НИЦ «Курчатовский институт».

Информационно-аналитический материал подготовлен ФГУП «РАДОН» при участии:

Иванова А. Ю., Дроздова В. В., Гиневец Е. М., Карпухиной Е. В.,

При поддержке ИБРАЭ РАН:

Линге И. И., Уткин С. С., Блохин П. А., Аракелян А. А., Казаков К. С., Федьков А. А., Шпиньков В. И.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Дизайн и верстка: Шапигузова Н. Ю.

Редакционная группа: Лупач Л. Ю., Наконечная Е. Л., Турецкий С. В.

Оригинал-макет подготовлен ИБРАЭ РАН
Подписано в печать 12.10.2026
Формат 60x90 1/8. Уч.-изд. л. 16,8. Усл.-печ. л. 24.49
Тираж 150 экз.