DOI: 10.25283/2587-9707-2026-2-6-16 УДК 621.039

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ И ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ — УСЛОВИЕ РАЗВИТИЯ ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Л. А. Большов[1], В. В. Тинин[2]

[1] Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

[2] Государственная корпорация «Росатом», Москва

Статья поступила в редакцию 4 мая 2026 г.

В статье, авторы которой возглавляли Президиум программного комитета 12-й Международной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность ядерных технологий», проходившей в период с 29 по 30 октября 2025 г. в Москве, представлены взгляды на основные задачи и направления работ по таким вопросам, как переработка ОЯТ, развитие системы захоронения РАО и актуальные задачи по объектам размещения особых РАО, вывод из эксплуатации радиационно опасных объектов, развитие расчетных комплексов для анализа и обоснования безопасности, обеспечения радиационной безопасности человека. Особое внимание уделено рассмотрению проблем планирования выполнения работ по развитию инфраструктуры обращения с радиоактивными отходами, совершенствованию системы обращения с РАО и выводу из эксплуатации.

Ключевые слова: *радиоактивные отходы, отработавшее ядерное топливо, вывод из эксплуатации, ядерное наследие, система обращения с радиоактивными отходами.*

Осенью 2025 года состоялась 12-я международная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность ядерных технологий», посвященная 80-летию атомной отрасли России. В конференции, проводимой раз в пять лет, приняли участие более 400 ученых и специалистов [1]. На заседаниях трех секций — «Радиационная безопасность человека и живой природы»; «Расчетные программы для прогнозирования и обоснования радиационной защиты и радиационной безопасности»; и «Безопасность на завершающих стадиях жизненного цикла: вывод из эксплуатации и обращение с ОЯТ и РАО» — было представлено около 200 докладов. Вопросы обращения с РАО, в том числе при переработке ОЯТ и выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), составили значимую часть программы конференции, что обусловлено, в первую очередь, их отличием от основного объема работ, связанных с эксплуатационными отходами базовых производств атомной отрасли. Авторам настоящей статьи, возглавлявшим Президиум программного комитета конференции, представляется важным дать читателям журнала «Радиоактивные отходы» общее видение современной ситуации и понимание основных задач в области обращения с РАО, которое сформировалось в ходе ее работы, в более широком объеме, чем оно содержится в опубликованном решении конференции [2]. Это видение представлено в форме тезисов.

Первый из тезисов может быть сформулирован следующим образом: критическая ситуация в области ядерного наследия на сегодняшний день преодолена. За последние 20 лет вопросы ядерного наследия

трансформировались из совокупности крайне острых проблем обеспечения радиационной и экологической безопасности [3] в совокупность сложных задач, решение которых потребует длительного времени и значительных средств, но уже не связано с серьезными и неизбежными рисками для населения и окружающей среды. При этом их решение перешло из категории условия существования атомной отрасли России в категорию условия устойчивого развития ядерных технологий России.

Кратко напомним, что в течение длительного времени с момента создания атомной промышленности в нашей стране обеспечению завершающих стадий жизненного цикла и решению их проблем не уделялось должного внимания. Во многом это было обусловлено объективными обстоятельствами, но, как факт, на рубеже тысячелетий и в начале 2000-х годов сфера ядерного наследия в Российской Федерации находилась в критическом состоянии. Это было обусловлено следующими причинами.

Во-первых, значительным количеством накопленного ОЯТ — 27 тысяч тонн (с ежегодным образованием дополнительных 600 тонн); заполнением на 96 % пристанционных хранилищ ОЯТ на ряде АЭС и отсутствием резервов хранилищ; дефицитом мощностей по переработке ОЯТ.

Во-вторых, отсутствием системы обращения с РАО. Накопленный объем удаляемых РАО составлял около 700 тыс .м^3. Отсутствовала как инфраструктура для централизованного сбора, переработки, кондиционирования и захоронения, так и технологии и установки для их переработки, типовой парк контейнеров для перевозки, кондиционирования и захоронения.

В-третьих, значимое количество ядерно и радиационно опасных объектов (свыше 2 тысяч) уже не использовалось по своему целевому назначению, либо их возраст приближался к критическому, при котором его техническое состояние не позволяет обеспечивать безопасную эксплуатацию. Это касалось не только стационарных объектов, но и атомных ледоколов и кораблей ВМФ с ядерными энергетическими установками, судов технического обслуживания и береговых баз.

Коренные изменения в этой области были реализованы после принятия государственных решений по реализации федеральных целевых программ обеспечения ядерной и радиационной безопасности (ФЦП ЯРБ). В 2008—2015 годах были реализованы мероприятия, предусмотренные ФЦП ЯРБ 1 [4]. В настоящее время происходит реализация мероприятий в рамках ФЦП ЯРБ 2 «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016—2020 годы и на период до 2035 года» [5]. Если мероприятия ФЦП ЯРБ 1 были направлены на снятие наиболее явных рисков безопасности, то в дальнейшем, по мере реализации программ, фокус внимания сместился на наработку референций по основным типам объектов. Сейчас стоит задача перехода к системному применению имеющихся знаний и умений для комплексного решения проблемы ядерного наследия, в том числе с учетом экономической эффективности работ. Таким образом, работы, предусмотренные в ФЦП ЯРБ 2, отражают более широкий взгляд на проблематику обращения с РАО в плане сопряженности с общими трендами развития ядерной энергетики и работами, связанными с объектами ядерного наследия.

Темпы работ и заинтересованность организаций отрасли в решении накопленных проблем значительно повысились благодаря принятию ряда законодательных норм. Принципиальная роль в этом вопросе принадлежит федеральному закону об обращении с радиоактивными отходами, который установил отношения в таких сферах, как право собственности на РАО и пункты хранения РАО, включая пункты захоронения, а следовательно, обязательства и ответственность в отношении обращения с образующимися и накопленными РАО. Данным законом была определена и модель Единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами (ЕГС РАО), нацеленной на безопасное обращение и обеспечение надежной изоляции РАО от окружающей среды [6]. Значительную роль в развитии деятельности на завершающих стадиях, включая их финансовое обеспечение, сыграл и закон о Государственной корпорации «Росатом» [7].

Таким образом, за прошедшие 20 лет были сформированы основные механизмы и инструменты решения накопленных проблем ядерного наследия, выбраны направления и стратегии реализации планов деятельности как в рамках федеральных целевых программ, так и в рамках резервных фондов. Показатели, суммирующие реализацию мероприятий ФЦП ЯРБ 2 по направлениям работ, представлены на рис. 1.

Подводя итоги деятельности по ядерному наследию, мы можем заключить:

- в целом проблема утилизации атомных подводных лодок, выведенных из эксплуатации, может считаться решенной. Выполнен вывоз ОЯТ с объектов на Дальнем Востоке, к 2030 году планируется завершить аналогичные работы на объектах, расположенных на Кольском полуострове. Атомный морской флот продолжает

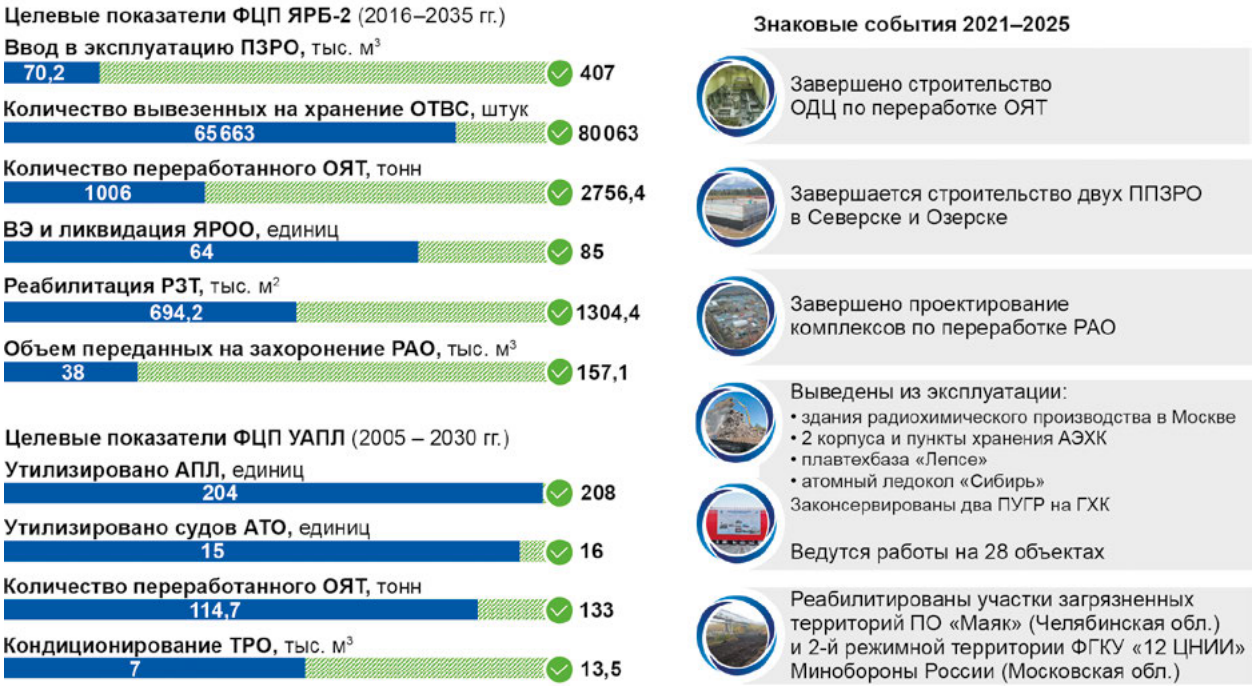

Рис. 1. Основные показатели выполнения мероприятий ФЦП ЯРБ 2 по решению проблем ядерного наследия

эксплуатироваться, в будущем потребуется вывод его объектов из эксплуатации. Выстроенная система и созданная инфраструктура планомерно, пошагово позволяют решать возникающие задачи как в настоящий момент, так и в будущем;

- заложена инфраструктура системы захоронения РАО 3 и 4 классов, которая, начиная с 2026 года, позволяет значительно увеличивать объемы захоронения данных отходов, а к 2035 году позволит полностью прекратить их накопление и перейти к стадии снижения количества накопленных РАО;
- реализованы масштабные работы по реабилитации территорий и выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии, а также по переработке ОЯТ, которые позволили убрать проблемы ядерного наследия в Российской Федерации из разряда «острых» и накопить уникальный опыт их решения.

Второй тезис — порядковое увеличение мощностей переработки ОЯТ стало приоритетной задачей в области завершающих стадий жизненного цикла. Сооружение и реконструкция хранилищ ОЯТ на ФГУП «ГХК» в рамках ФЦП ЯРБ 1 создали на определенное время достаточный запас прочности для системы обращения с ОЯТ. Однако существующие мощности его переработки, даже с учетом ввода Опытно-демонстрационного центра (ОДЦ) на ФГУП «ГХК», не позволяют решить проблему накопления ОЯТ, что обусловливает не только сохранение, но и увеличение темпов его накопления за счет ввода в эксплуатацию новых энергоблоков. Ситуация с наращиванием объемов ОЯТ представляется неприемлемой, а в совокупности с потребностью в плутонии для реакторов на быстрых нейтронах предопределяет необходимость перехода к практической реализации замыкания ядерного топливного цикла.

В основу государственной политики в этой области положен принцип переработки ОЯТ для возврата в топливный цикл регенерируемых ядерных материалов. Технологическая платформа ядерной энергетики на базе замкнутого ЯТЦ предполагает параллельное функционирование реакторов на тепловых и быстрых нейтронах. В последние 5 лет эта политика подкреплена разработкой и утверждением нескольких программных документов, среди которых «Стратегия развития ядерной энергетики России до 2050 года и перспективы на период до 2100 года» [8] и «Концепция обращения с отработавшим ядерным топливом на 2023—2035 гг. и перспективу до 2050 г.» [9]. В 2023 году была поставлена задача по развитию радиохимического направления [10] и разработке соответствующей программы. Это позволило создать условия для конкретизации задач в области переработки ОЯТ, касающиеся потребностей в плутониевом топливе для быстрых реакторов; новых типов регенерированного ядерного топлива, в том числе для технологий дожигания и трансмутации наиболее радиологически опасных радионуклидов; требований к характеристикам продуктов переработки, включая РАО.

О первоочередных шагах в этой области

Для достижения целей увеличения переработки ОЯТ, первое, что безусловно необходимо сделать, — это модернизировать имеющееся производство (завод РТ-1 на ФГУП «ПО «Маяк»), а также вывести на проектную мощность ОДЦ на ФГУП «ГХК». Соответствующие работы ведутся, в том числе путем выполнения комплексов НИОКР. Оптимистичные планы предусматривают: завершение модернизации завода РТ-1 к 2035 году, которая позволит обеспечить выход его на проектную производительность (400 т ТМ/год) с переработкой всей линейки ОЯТ, образующихся на реакторах типа ВВЭР и реакторах на быстрых нейтронах; выход ОДЦ, где отрабатываются новые технологии переработки ОЯТ, на проектные мощности (220 т ТМ/год) в 2029 году.

На сегодняшний момент близка к завершению разработка стратегической программы «Развитие радиохимического направления» с объемом финансирования порядка полутриллиона рублей. Этой программой предусматривается:

- Создание завода большой производительности по переработке ОЯТ.
- Создание опытного участка по выделению короткоживущей фракции ВАО.
- Создание и реферирование систем длительного хранения ОЯТ/ВАО.
- Создание инфраструктуры обращения с ВАО.

Основные усилия в ближайшие несколько лет будут сосредоточены на проектировании завода большой производительности и конструировании его оборудования, которое должно обеспечить не только надежную работу всех радиохимических переделов, но и доведение их экологичности до уровня АЭС. Инструменты для решения этих задач включают: моделирование различных вариантов фракционирования, применение цифровых двойников, создание действующих макетов критического оборудования.

Главная задача в среднесрочном периоде — сооружение завода большой производительности, то есть реализация технологических решений, которые позволят на горизонте 2050-го года переломить тенденцию накопления ОЯТ и перейти к сокращению его объемов. Это глобальная задача для всей отрасли — для научных организаций, для Госкорпорации, для эксплуатирующих организаций, надзорных органов, — задача далеко не простая, но точно решаемая. При ее решении важную роль будут играть: оптимизация технологий и их сопряжения, как, например, переработки ОЯТ тепловых реакторов и переработки ОЯТ в рамках Опытно-демонстрационного энергетического комплекса (ОДЭК) проектного направления «Прорыв»; увеличение объемов переработки ОЯТ и рост нагрузки на систему захоронения РАО.

Третий тезис — система захоронения должна наращивать объемы приема РАО на протяжении многих десятилетий. Потребность в таком развитии обусловлена как значительным количеством накопленных удаляемых РАО, так и объемом вновь образующихся, включая и отходы от вывода из эксплуатации (ВЭ) объектов использования атомной энергии. В 2025 году на основе предложений организаций Госкорпорации «Росатом» был подготовлен прогноз образования РАО до 2050 года, включая РАО от ВЭ [9]. Он показал ожидание существенного увеличения объемов образования РАО от ВЭ по классам 3 и 4. В целом среднегодовой показатель объема образующихся кондиционированных удаляемых РАО классов 1—4 на период 2025—2050 годов может составить около 37 тыс. куб. м, причем доля РАО от ВЭ превысит 50 %. Понятно, что линейным образом, то есть созданием только новых пунктов захоронения, решить проблему захоронения такого количества РАО трудно. Необходим комплексный подход, включающий не только сооружение новых объектов, но и работу с объектами размещения особых РАО с обоснованием безопасности таких решений; использование потенциала существующих объектов захоронения, в особенности полигонов захоронения ЖРО в районах расположения ФГУП «ГХК» и АО «СХК», а также природоохранных нормативов; развитие регуляторной системы, которая по ряду важных аспектов сейчас носит сугубо запретительный характер. Консенсус в отношении них между обществом и отраслью, формировавшийся в период становления ЕГС РАО как таковой, сейчас, в условиях трансформации международных институтов и развития крупномасштабной ядерной энергетики IV поколения как основы национальной безопасности на как минимум несколько сотен лет вперед, может и должен быть пересмотрен в направлении побудительных мотивов.

В связи с этим наиболее показателен пример использования технологии закачки ЖРО на ФГУП «ГХК» и АО «СХК». После прекращения эксплуатации радиохимических производств объемы закачки ЖРО на порядок снизились, что привело к формированию большого запаса доступных мощностей относительно обоснованных ранее объемов закачки. Использование этого остаточного ресурса, исчисляемого десятками миллионов кубометров, представляется более чем рациональным, в том числе и для захоронения части накопленных РАО и части эксплуатационных, в особенности загрязненных тритием.

Аналогична ситуация и с консервацией пунктов захоронения особых РАО. Проработка вопроса дополнительного размещения нескольких типов РАО, выполненная для объектов ПХ-1 и ПХ-2 на АО «СХК» [11], показала перспективность данного подхода. Подчеркнем целеполагание этих подходов: сначала — полное обеспечение безопасности и облегчение бремени ядерного наследия, которое во многом влияет как на развитие атомной промышленности, так и на возможности бюджетного финансирования работ по ВЭ объектов ядерного наследия, а затем — сокращение расходов путем оптимизации.

Развитие сети пунктов захоронения РАО и наращивание объемов и темпов их захоронения в обязательном порядке должны сопровождаться:

- снижением консерватизма прогнозов при оценке безопасности с целью оптимизации решений по захоронению РАО;
- снижением и в перспективе полным исключением поступления в совмещенные объекты захоронения РАО классов 3 и 4 материалов, содержащих радионуклиды в количествах ниже предусмотренных критериями отнесения к РАО;
- разработкой требований по захоронению отдельных видов РАО, таких как графит, относимый к 3 классу, солевой плав, жидкометаллический теплоноситель реакторов на быстрых нейтронах, крупногабаритные РАО, и развитием технологий кондиционирования;
- внедрением дифференцированного подхода к проектированию инженерных барьеров безопасности в зависимости от функций безопасности и обеспечения необходимых сроков службы, в том числе созданием упрощенных поверхностных ПЗРО (так называемых «легких карт») для захоронения РАО очень низкой активности.

Как показывает опыт, создание объектов захоронения РАО занимает достаточно продолжительное время. Для приповерхностных пунктов захоронения (ППЗРО) временной период полного цикла работ может составить десять и более лет, а для глубинного пункта захоронения (ПГЗРО) — не менее 20 лет. В связи с этим вопросы долгосрочного планирования развития инфраструктуры захоронения приобретают особую актуальность.

Таким образом, решение проблемы обращения с РАО требует создания полной инфраструктуры захоронения, комплексного подхода в реализации централизованной и децентрализованной компонент структуры по переработке и кондиционированию РАО, финансовой и нормативной обеспеченности проводимых работ, включая захоронение.

К настоящему времени произошли существенные сдвиги в области захоронения РАО 3 и 4 классов.

Первым практическим достижением стало введение в эксплуатацию первой (2016 г.) и второй (2021 г.) очередей ППЗРО в районе размещения АО «УЭХК» (Свердловская область, отделение «Новоуральское» филиала «Северский» ФГУП «НО РАО») общей проектной мощностью 55 000 м^3. На сегодняшний день получены лицензии Ростехнадзора на размещение и сооружение ППЗРО в районе ФГУП «ПО «Маяк» (Озерский городской округ, Челябинская область) и в районе АО «СХК» (ЗАТО Северск, Томская область) и начаты работы по их сооружению. Озерский ППЗРО, в соответствии с проектом, должен иметь вместимость 225 000 м^3 РАО. Его годовая производительность по приему и размещению РАО должна составить 15 000 м^3 в год, в том числе 12 200 м^3 РАО 4 класса и 2 800 м^3 — третьего. Вместимость Северского ППЗРО, в соответствии с проектом, должна составить 142 700 м^3, а годовая производительность 10 000 м^3. К концу 2025 года строительные работы на этих двух объектах вышли на завершающую стадию.

Необходимо также отметить прогресс в работах по комплексу цементирования на ФГУП «ПО «Маяк», где более 10 лет назад ввод в эксплуатацию объекта столкнулся с нормативными ограничениями, сформировавшимися после разработки и реализации проекта строительства. В начале 2026 года на заседании НТС Ростехнадзора были в целом одобрены технические решения, выработанные специалистами предприятия.

В качестве организационного достижения нужно выделить разработку в 2025 году Дорожной карты создания пунктов захоронения на период до 2050 года. В рамках этого документа на основе актуализации сведений о накопленных РАО, планах по кондиционированию удаляемых РАО и обращению с особыми РАО, данных об образующихся РАО (эксплуатация и вывод из эксплуатации) и планах по их кондиционированию, а также о местоположении основных источников образования и переработки РАО предложены потенциальные участки для создания пунктов захоронения РАО классов 3 и 4, в том числе в Европейской части России.

Если вопросы захоронения РАО 3 и 4 классов во многом переходят в область практических действий, то проблема захоронения долгоживущих отходов 1 и 2 классов находится в стадии исследований и проработок. Первым этапом ее решения является создание подземной

исследовательской лаборатории (ПИЛ), предназначенной для решения следующих задач:

- получение детальной информации по геологическому строению Нижнеканского массива, необходимой для надежной оценки безопасности размещения пункта глубинного захоронения РАО на этом участке;
- выбор и отработка способа сооружения подземных выработок с минимальным воздействием на вмещающий массив;
- отработка транспортно-технологической схемы, выбор и обоснование материалов и конструкции системы инженерных барьеров.

Это многоплановая задача, к решению которой в настоящее время привлечены ученые и специалисты ФГУП «НО РАО», ИБРАЭ РАН, ИГЕМ РАН, ИФХЭ РАН, Геофизического центра РАН, СПб Отделения Института Геоэкологии РАН, МГУ им .М .В. Ломоносова, Горного института НИТУ МИСиС.

Проведение исследований в ПИЛ — комплексная задача, решаемая не за один год и требующая значительных ресурсов, причем не только финансовых или строительных, но и прежде всего людских, научных, которые позволят дать обоснование безопасности данных сооружений на длительный период. Предполагается, что в 2026 г. начнется активная фаза строительства и все объекты ПИЛ будут сооружены до 2028 г. Новая фаза исследований стартует раньше — в процессе проходки вертикальных стволов и по мере сооружения горных выработок. Отметим, что уже 5 лет тому назад в г. Железногорск был создан филиал ИБРАЭ РАН, специалисты которого выполнят значительный объем исследований, в том числе при подготовке к проходке вертикальных стволов.

Исследования для обоснования безопасности глубинного захоронения РАО проводятся не только в ПИЛ. Для последних лет характерно получение новых и принципиальных результатов, в том числе в части исследований физико-химических свойств остеклованных РАО, исследований функциональных свойств барьеров из бентонита (ИГЕМ РАН). Работы по характеризации продуктов переработки ОЯТ, направляемых на захоронение, следует отнести к уникальным для мировой практики. Решение задачи отбора и анализа проб накопленных остеклованных высокоактивных отходов было достигнуто совместными усилиями специалистов ФГУП «ПО «Маяк», АО НПФ «Сосны», АО «ИРМ» и ИБРАЭ РАН. Было разработано и изготовлено уникальное оборудование, а также сформулированы и опробованы более 20 методик выполнения анализов и измерений. В целом программа научных исследований по этому направлению, выполняемая под координацией ИБРАЭ РАН, успешно реализуется.

Четвертый тезис: проблематика обращения с особыми РАО требует нового системного подхода, с более сильной координацией деятельности эксплуатирующих организаций. В недалеком прошлом успешно выполнены работы по закрытию акватории водоема В-9 и разработан стратегический мастер-план по Теченскому каскаду водоемов, произведена консервация ряда объектов, в том числе на ФГУП «ГХК». В 2019—2020 гг. завершена консервация бассейнов-хранилищ Б-1, Б-25 и комплекса хранилищ ТРО траншейного типа на АО «СХК». В настоящее время обеспечивается регулярный мониторинг состояния этих объектов. Благодаря применению более эффективных технологий сроки выполнения работ по проектам консервации Б-1 и Б-25 удалось сократить до 3—5 лет вместо запланированных изначально 10—15 лет. До 2035 года запланировано приведение в безопасное состояние нескольких крупных объектов. Это ПХ-1, ПХ-2 АО «СХК» и В-17 ФГУП «ПО «Маяк», а также пункты хранения ТРО: ПХТРО № 1—5 и сооружение 263 АО «СХК», хвостохранилище ПАО «НЗХК» и ПХРО Кирово-Чепецкого отделения ФГУП «Радон». По таким крупным объектам, как В-17 на ФГУП «ПО Маяк» и хвостохранилище ПАО «НЗХК», работы продолжатся и после 2030 года.

В то же время, если сравнивать текущую ситуацию с периодом первичной регистрации РАО в 2013—2014 годах, интенсивность рассмотрения будущего этих объектов несколько снизилась. При этом появились и новые существенные обстоятельства, требующие переосмысления подходов к работам по консервации таких сложных объектов. По большому количеству таких объектов было принято отложенное решение, которое сегодня требует разрешения. Также в критерии отнесения РАО к особым были внесены изменения, которые сняли ограничения по их происхождению (раньше в эту категорию входили только РАО, образовавшиеся в результате выполнения оборонных программ и ликвидации аварий) и местоположению мест их размещения. Весьма важным обстоятельством является сокращение годовых темпов бюджетного финансирования, которое, по-видимому, станет хроническим, и возросшее понимание стоимости работ по консервации, которое тоже не может быть отнесено к малозначимым. В этих условиях необходима реализация дифференцированного подхода, учитывающего месторасположение, характер размещенных РАО и состояние

системы инженерных и естественных барьеров безопасности.

Главными научными вопросами, касаемо этой проблемы, являются: определение необходимых сроков содержания объектов под наблюдением, в особенности в отношении пунктов хранения ЖРО; обоснование эффективности и срока службы барьерных материалов для пунктов консервации особых РАО; типизация новой совокупности объектов и разработка типовых стратегий обращения. Задачами организационного и технического характера при этом будут: ревизия решений по отнесению части накопленных РАО к особым, принятых в 2013—2014 годах, с особым вниманием к отложенным решениям и решениям, не принятым в силу нормативных ограничений; систематизация данных по объектам размещения особых РАО, необходимых для разработки проектов консервации и обоснования долгосрочной безопасности, и концептуальное проектирование работ по консервации.

Пятый тезис: для эффективного ведения работ по ВЭ требуется широкий набор технологий и действующая система захоронения РАО, поэтому ближайшие несколько лет должны стать годами технологического развития.

Комплексное решение проблем ВЭ остановленных объектов, а также связанное с ним безопасное обращение с ОЯТ и РАО является не только важнейшим условием обеспечения ядерной и радиационной безопасности при использовании атомной энергии, но также одним из необходимых условий повышения эффективности и конкурентоспособности атомной энергетики и промышленности в целом.

Госкорпорация «Росатом» считает одной из приоритетных целей своей деятельности создание условий, обеспечивающих возможность своевременного, отвечающего современным международным нормам, экономически эффективного и социально-ориентированного вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии, исключающего перекладывание проблем на будущие поколения. Что касается объектов наследия, ведущая роль государства в финансировании работ предопределена длительным функционированием большинства объектов, подлежащих ВЭ, в условиях государственной собственности и без аккумуляции средств на обеспечение заключительных стадий. В ожидании выделения на эти цели крупных ресурсов со стороны бюджета целесообразно сосредоточиться на поиске эффективных решений и технологий, а именно:

- реализовать эффективную систему планирования;
- сформировать компетентные организации по выводу из эксплуатации;
- апробировать и внедрить высокоэффективные технологии ведения демонтажных работ.

Понятно, что обязательным условием масштабного развертывания работ является готовность системы захоронения к приему РАО от ВЭ.

В рамках этих направлений сделано уже много, в том числе функционируют ОДЦ УГР и ОДИЦ Концерна «Росэнергоатом», переформатирует свою деятельность ФГУП «РАДОН». Ведутся разработка и тестирование технологий вывода из эксплуатации. Большой объем таких работ выполнен на площадке бывшего АО «ВНИИХТ», в том числе с использованием механизированного и автоматизированного оборудования, дистанционно-управляемых и роботизированных комплексов. За последние годы наработана перспективная технология проведения «цифрового Комплексного инженерного и радиационного обследования (КИРО)». Цифровые технологии могут существенно сократить сроки и стоимость проектирования ВЭ и обеспечить выбор наиболее эффективного варианта. Однако основной резерв снижения стоимости сосредоточен в определении конечного состояния площадки, на которой расположен объект, и ее будущего использования. Для этих целей в мировой практике успешно применяется инструментарий, называемый концептуальной моделью площадки. Его применение позволяет оптимизировать критерии конечного состояния для территорий с остаточным загрязнением и тем самым существенно сократить объемы РАО, образующихся при ВЭ, количество завозного грунта для засыпки котлованов и т. д. Примером успешной оптимизации проектов ВЭ стали работы по сублиматному заводу АО «АЭХК», в рамках которых были построены цифровые модели, рассмотрены различные варианты стратегий, оценены стоимости по ним, оценена и обоснована безопасность. В результате было показано, что, во-первых, основной объем РАО можно разместить в шламохранилищах площадки и, во-вторых, что если правильно подойти к работам по ВЭ подземных газоходов, то экономия на обращении с РАО может составить более 10 млрд руб. за счет кардинального сокращения объема их образования.

Определенную угрозу для разработки планов ВЭ старых объектов представляет утрата первичной проектной информации. Технологии лазерного сканирования, применяемые для создания цифровых моделей, зарекомендовали себя с лучшей стороны. Упреждающая работа по созданию цифровых моделей объектов

и проработке проектов ВЭ может существенно сократить издержки и риски, связанные с изысканиями и воспроизводством утраченной информации.

Во многих случаях наиболее эффективные решения могут быть найдены на уровне не отдельных объектов, а площадки в целом. Следует рассматривать и перспективы тиражирования лучших практик по группам объектов и площадок. В активации этого потенциала решающую роль должны сыграть усилия подразделений Госкорпорации «Росатом».

Тезис номер 6 — цифровизация и расчетные коды дают уникальную возможность снятия консерватизма в оценках безопасности и поиске лучших технических решений, а нормативные требования по коэффициентам запаса не должны применяться к расчетам, выполненным по аттестованным программам.

С точки зрения проблематики РАО система расчетных комплексов — это определенно необходимый инструмент для формирования доказательной базы обоснования долговременной безопасности объектов, включая пункты захоронения. На сегодняшний момент создан целый комплекс аттестованных российских программных продуктов, которые ежегодно развиваются и верифицируются и не уступают зарубежным аналогам (рис. 2).

С их применением проведены расчеты по оценкам безопасности объектов ядерного наследия более чем для 20 предприятий отрасли: ФГУП «НО РАО», ФГУП «РАДОН», ФГУП «ГХК», АО «СХК», АО «АЭХК», ФГУП «ПО «Маяк» и др.

Цифровизация играет ключевую роль не только в обосновании безопасности, она необходима также при планировании работ по ВЭ. За счет многоэтапного процесса реинжиниринга архивных данных, лазерного сканирования, создания цифровой информационной модели (ЦИМ) с учетом данных КИРО и мониторинга она позволяет получить:

- достоверную оценку объемов образования отходов;
- стоимостные и ресурсные оценки выполнения работ;
- исходные данные для оценки безопасности и разработки проектов ВЭ.

Кроме того, цифровизация позволяет более точно прогнозировать финансовые и временные сроки проведения этих работ, помогает решить задачу моделирования опытных образцов и проектирования оборудования.

Завершающий тезис — радиационная безопасность человека и объектов живой природы на всех объектах завершающих стадий жизненного цикла надежно обеспечивается, но содержание основных регулирующих документов в сфере радиационной безопасности остро нуждается в обновлении. Свидетельств первой части тезиса много: это и фактические данные по дозам облучения работников при выполнении работ по обращению с ОЯТ, РАО и ВЭ, и доклады участников 12-й конференции. Во многом это заслуга функционировавшей на протяжении десятилетий системы обеспечения радиационной безопасности. При этом на конференции в целом единодушно отмечалось застойное состояние нормативно-правовой базы в области радиационной безопасности, а появившиеся в этот же период проекты новых документов, в том числе законопроект о внесении изменений в федеральный закон «О радиационной безопасности населения» и проекты Норм радиационной безопасности (НРБ) и Основных санитарных правил обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ), характеризовались большим количеством критических замечаний. Позже была организована работа по детальному анализу новых документов с участием специалистов организаций отрасли. Результаты этой работы, рассмотренные на НТС № 10 «Экологическая и радиационная безопасность» Госкорпорации «Росатом», были направлены в адрес Роспотребнадзора.

Рис. 2. Схема обеспечения расчетного обоснования долговременной безопасности на всех этапах оценки аттестованными программными средствами

Заключение

В дополнение к семи тезисам сформулируем два вывода и одну констатацию:

1 .В настоящее время на основе обширной практики двух последних десятилетий реализуется системный подход к решению проблем ядерного наследия, который является залогом исключения воспроизводства проблем обеспечения ядерной и радиационной безопасности в будущем и, что самое главное, успешного завершения длительной, но созидательной и важной работы по ликвидации ядерного наследия.

2 .Прошедшая конференция продемонстрировала существенный рост научно-технического потенциала в части завершающих стадий жизненного цикла и, что еще более важно, появление новой и молодой когорты исследователей и специалистов. Такие форумы, как и иные площадки обмена опытом, востребованы профессиональной аудиторией и необходимы для дальнейшего наращивания компетенций.

В заключение необходимо отметить важность вопроса информирования граждан и обеспечения возможности обмена мнениями. В прошлом тысячелетии тема обращения с РАО, ОЯТ и вывода из эксплуатации объектов атомной промышленности пугала общественность во многом потому, что никогда не освещалась публично. В настоящее время эта ситуация меняется. Информирование и обратная связь необходимы для того, чтобы люди адекватно воспринимали и понимали работу отрасли в отношении безопасного обращения с РАО и ликвидации объектов ядерного наследия. Для таких целей создан и ведет свою работу портал ФЦП–ЯРБ . Ф, сопровождающий федеральную целевую программу в целом. На нем можно найти в том числе материалы 12-й конференции [https://фцп-ярб .рф conf2025/]. Проводятся ежегодные технические туры на предприятия и объекты отрасли для представителей общественности. Создан и регулярно издается научно-технический журнал «Радиоактивные отходы».

Важно поддерживать информационное обеспечение в качестве постоянно идущего процесса, необходимого для всех участников работ по наследию, и искать новые формы его организации.

Литература

1 .Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях : Сборник трудов XII Международной научной конференции. 29—31 октября 2025 г., Москва. Под общ. ред. акад. РАН Л. А. Большова; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук. — М. : ИБРАЭ РАН, 2025. 624 с.

2 .Решение XII Международной научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях» // Радиоактивные отходы. 2026. № 1 (34). С. 111—112.

3 .Проблемы ядерного наследия и пути их решения / А. М. Агапов, А. А. Абрамов, С. В. Дьяков и др. Том 1. — М. : Энергопроманалитика, 2012. 356 с .; Проблемы ядерного наследия и пути их решения / В. А. Васильев, А. А .Захарчев, А. В. Григорьев и др. Том 2. — М. : Энергопроманалитика, 2013. 392 с .; Проблемы ядерного наследия и пути их решения / А .А .Абрамов, А. Н. Дорофеев, Е .А .Комаров и др. Том 3 . — М. : Энергопроманалитика, 2015. 316 с.

4 .Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2007 г. № 484-р.

5 .Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016—2020 годы и на период до 2035 года». Утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2015 г. № 1248.

6 .Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федеральный закон от 11 .0 .2011 № 190-ФЗ

7 .О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» : федеральный закон от 01 .12 .2007 № 3 -ФЗ.

8 .Стратегия развития ядерной энергетики России до 2050 г. и перспективы на период 2100 г. принята 11. 04. 2022 г.

9 .Концепция обращения с отработанным ядерным топливом (ОЯТ) Госкорпорации «Росатом» на 2023—2035 годы и перспективу до 2050 года. Утв. приказом Госкорпорации «Росатом» от 5 декабря 2022 г.

10 .*Тинин В. В., Дорофеев А. Н., Иванов К. В. и др.* О захоронении радиоактивных отходов на участке «Енисейский» и развитии радиохимического направления) // Радиоактивные отходы. 2025. № 2 (31) С. 6—17. DOI: 10 25283/2587-9707-2025-2-6-17.

11 .*Котов С. А., Тинин В. В.* Развитие работ по обращению с РАО на АО «СХК» // Радиоактивные отходы. 2024. № 2 (27). С. 9—17. DOI: 10 .25283/258 -9707-2024-2-9-17.

Информация об авторах

Большов Леонид Александрович, академик РАН, профессор, доктор физико-математических наук, научный руководитель, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: bolshov@ibrae .ac .r

Тинин Василий Владимирович, кандидат технических наук, директор по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО, Госкорпорация «Росатом» (119017, Москва, ул. Большая Ордынка, д .24), e-mail: VVTinin@rosatom .ru

Библиографическое описание статьи

Большов Л. А., Тинин В. В. Решение проблем ядерного наследия и обращения с радиоактивными отходами — условие развития ядерных технологий // Радиоактивные отходы. 2026. № 2 (35). С. 6—16. DOI: 10 .25283/258 -9707-2026-2-6-16.

ADDRESSING NUCLEAR LEGACY AND RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT CHALLENGES AS A PREREQUISITE FOR THE ADVANCEMENT OF NUCLEAR TECHNOLOGIES

Bolshov L. A.[1], Tinin V. V.[2]

[1] Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[2] State Corporation "Rosatom", Moscow, Russia

Article received on May 4, 2026

This article authored by the co-chairs of Program Committee's Presidium of the 12th International Conference on Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies held in Moscow from 29 to 30 October, 2025, presents the views on the key objectives and focus areas associated with SNF reprocessing, development of RW disposal systems and current challenges faced in dealing with facilities holding non-retrievable RW, the decommissioning of radiation-hazardous facilities, the development of calculation systems for safety analysis and safety assessment, as well as radiation safety of population. It pays particular attention to work planning and relevant challenges related to further development of radioactive waste management infrastructure, improvement of RW management systems and decommissioning.

Keywords: *radioactive waste, spent nuclear fuel, decommissioning, nuclear legacy, radioactive waste management system.*

References

1 . *Radiatsionnaya zashchita i radiatsionnaya bezopasnost' v yadernykh tekhnologiyakh. Sbornik trudov XII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Moskva, 29—30.10.2025)* [Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies. Proceedings of the XII International Scientific Conference, Moscow, October, 29—30, 2015]. Moscow, NSI RAS Publ., 2025. 624 p.

2 . Resheniye XII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Radiatsionnaya zashchita i radiatsionnaya bezopasnost' v yadernykh tekhnologiyakh" [Decision of the XII International Scientific Conference

on Radiation Protection and Radiation Safety in Nuclear Technologies]. *Radioaktivnyye otkhody — Radioactive Waste,* 2026, no. 1 (34), pp. 111—112.

3. *Problemy obespecheniya nablyudeniya i puti ikh resheniya* [Nuclear legacy challenges and ways to address them]. A. M. Agapov, A. A. Abramov, S. V. Dyakov et al. Volume 1. Moscow, Energopromanalitika Publ., 2012. 356 p.; *Problemy obespecheniya nablyudeniya i puti ikh resheniya* [Nuclear legacy challenges and ways to address them]. V. A. Vasiliev, A. A. Zakharchev, A. V. Grigoriev et al. Volume 2. Moscow, Energopromanalitika Publ., 2013. 392 p. *Problemy obespecheniya nablyudeniya i puti ikh resheniya* [Nuclear legacy challenges and ways to address them]. A. A. Abramov, A. N. Dorofeev, E. A. Komarov et al. Volume 3. Moscow, Energopromanalitika Publ., 2015. 316 p.

4. *Federal'naya tselevaya programma "Obespecheniye yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti na 2008 god i na period do 2015 goda"* [Federal Target Program Nuclear and Radiation Safety in 2008—2015]. Approved by Government Decree of the Russian Federation No. 484-r of April 19, 2007.

5. *Federal'naya tselevaya programma "Obespecheniye yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti na 2016—2020 gody i na period do 2035 goda"* [Federal Target Program Nuclear and Radiation Safety in 2016—2020 and up to 2035]. Approved by Government Decree of the Russian Federation No. 1248 of November 9, 2015.

6. *Ob obrashchenii s radioaktivnymi otkhodami i o vnesenii izmeneniy v otdel'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii* [On Radioactive Waste Management and Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation]. Federal Law No. 190-FZ of July 11, 2011.

7. *O Gosudarstvennoy korporatsii po atomnoy energii "Rosatom"* [On the State Atomic Energy Corporation Rosatom]. Federal Law of December 1, 2007 No. 317-FZ.

8. *Strategiya razvitiya yadernoy energetiki Rossii do 2050 g. i perspektivy na period 2100 g.* [The Strategy for Nuclear Power Development in Russia until 2050 and Prospects for the Period up to 2100] adopted on April 11, 2022.

9. *Kontseptsiya obrashcheniya s otrabotannym yadernym toplivom (OYAT) Goskorporatsii «Rosatom» na 2023—2035 gody i perspektivu do 2050 goda* [Spent Nuclear Fuel (SNF) Management Concept of Rosatom State Corporation for 2023—2035 and Through 2050]. Approved by Order of Rosatom State Corporation on December 5, 2022.

10. Tinin V. V., Dorofeev A. N., Ivanov K. V., Ugryumov A. V., Pidoprigora E. V., Bolshov L. A., Linge I. I., Utkin S. S., Ryabkov D. V., Semenov M. A., Kalmykov S. N., Vinokurov S. E., Myasoedov B. F., Shadrin A. Yu., Deryabin S. A., Kolupaev D. N., Kotov S. A., Lukin S. A., Kashcheev V. A. O zakhoronenii radioaktivnykh otkhodov na uchastke "Yeniseyskiy" i razvitii radiokhimicheskogo napravleniya [Radioactive waste disposal at the Yeniseiskiy site and the development of radiochemical research]. *Radioaktivnyye otkhody — Radioactive Waste,* 2025, no. 2 (31), pp. 6—17. DOI: 10.25283/2587-9707-2025-2-6-17.

11. Kotov S. A., Tinin V. V. Razvitiye rabot po obrashcheniyu s RAO na AO "SKHK" [Follow-up efforts on RW management at SCC]. *Radioaktivnyye otkhody — Radioactive Waste,* 2024, no. 2 (27), pp. 9—17. DOI: 10.25283/258-9707-2024-2-9-17.

Information about the authors

Bolshov Leonid Aleksandrovich, Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Head of Research, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: bolshov@ibrae.ac.r

Tinin Vasily Vladimirovich, PhD, Director for the Public Policy on Radioactive Waste, Spent Nuclear Fuel and Nuclear Decommissioning, State Corporation "Rosatom" (24, Bolshaya Ordynka st., Moscow, 119017, Russia), e-mail: VVTinin@rosatom.ru

Bibliographic description

Bolshov L. A., Tinin V. V. Addressing Nuclear Legacy and Radioactive Waste Management Challenges as a Prerequisite for the Advancement of Nuclear Technologies. *Radioactive Waste,* 2026, no. 2 (35), pp. 6—16. DOI: 10.25283/258-9707-2026-2-6-16. (In Russian).