

О СОГЛАСОВАНИИ ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ АТОМНОГО ЭНЕРГОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА И СИСТЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С РАО

Л. А. Большов, И. И. Линге

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 1 августа 2019 г.

Рассмотрены вопросы взаимодействия эксплуатирующих организаций, в результате деятельности которых образуются радиоактивные отходы, и компонент Единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами. Для ближайшего и отдаленного будущего определены вопросы, по которым должны быть приняты согласованные решения, и сроки, в которые эти решения должны быть приняты и реализованы.

Ключевые слова: Единая государственная система обращения с радиоактивными отходами, эксплуатирующая организация, боросиликатное стекло от переработки ОЯТ, реакторный графит, очень низкоактивные радиоактивные отходы, контейнеры.

К концу 2018 года, после энергичных проработок и дискуссий, были сформированы основные положения стратегии развития атомной энергетики России до 2050 года и на период до 2100 года [1] (далее — Стратегия). Можно определить этот временной горизонт как далекое будущее, но можно посмотреть на него и иначе — это менее двух сроков службы современных АЭС. Обращению с РАО, в том числе от переработки ОЯТ, в Стратегии [1] отведено достаточно компактное место. И это понятно, поскольку она определила варианты контуры развития реакторного парка, а все остальное — и производство топлива, и обращение с ОЯТ и РАО, в том числе тип рецикла, — по замыслу разработчиков, будет подстраиваться под реакторные технологии.

В настоящей статье мы хотели бы обратить внимание на необходимость учета взаимовлияния развития Единой государственной системы обращения с радиоактивными отходами (ЕГС РАО) и развития ядерных технологий в атомном

энергопромышленном комплексе России (АЭПК), включая ядерный топливный цикл и атомную энергетику. Для учета этих взаимовлияний и взаимодействий полезно использовать инструменты долгосрочного планирования, уже применяемые в российской атомной промышленности. Понятно, что в части видения перспектив стратегия развития АЭПК является определяющей.

В ряде случаев целесообразно будет обратиться к зарубежному опыту. В первую очередь отметим опыт Швеции, который демонстрирует высокую гибкость в планировании работ в области захоронения РАО, привязанных к функционированию атомной энергетики страны. Это обеспечивается участием промышленности в управлении оператором по захоронению. Отвечающая за него компания SKB была создана при участии собственников АЭС. В другом случае, как в США, государство полностью берет на себя ряд крупных задач, в том числе в отношении объекта геологического захоронения ОЯТ, а

также работы по наследию. В части объекта захоронения ОЯТ опыт оказался не столь успешным. Возникли затруднения с вводом в эксплуатацию централизованного объекта, следствием чего стали многочисленные судебные иски к государству по компенсации сверхнормативного хранения ОЯТ на АЭС. В третьем случае, как в Германии, владельцы АЭС также потребовали от государства покрытия издержек на принудительное досрочное прекращение эксплуатации АЭС, в том числе на их вывод из эксплуатации и захоронение РАО.

Рассмотрение вопросов взаимовлияния проведем отдельно для четырех исторических периодов функционирования АЭПК России (табл. 1). Недавнее прошлое и близкое будущее специально разделены, поскольку выводы для ближайшего будущего представляются наиболее важными. Принципиально, что речь идет не о разных системах, а об одной — атомном энергопромышленном комплексе, который включает в себя добычу урановых руд, фабрикации ядерного топлива, собственно атомную генерацию и блок производств по завершающим стадиям жизненного цикла, который в полном объеме

включает ЕГС РАО. Разделение осуществлено исключительно с целью взаимного учета различных компонент одной крупной эффективной экологичной и многоцелевой системы, какой должен стать АЭПК России.

Далекое прошлое. На протяжении первых шестидесяти лет своего развития атомная промышленность, а затем и атомная энергетика развивались по принципу накопления отложенных проблем по обращению с РАО (табл. 1). Сфера обращения с РАО была глубоко вторичной в сравнении с решением задач ввода в эксплуатацию новых производств и технологий. Даже аварийные и предаварийные ситуации на объектах хранения РАО не влияли на основные производства. Например, загрязнение прилегающих территорий за счет ветрового выноса из объекта «Карачай» привело к принятию решения о начале закрытия акватории, но не инициировало постановку вопроса о пересмотре технологий, в результате которых используются приповерхностные водоемы-хранилища ЖРО. Загрязнение подземных и поверхностных вод на объектах хранения РАО на Белоярской и Нововоронежской АЭС не стало причиной рассмотрения

Таблица 1. Принципиальные этапы развития АЭПК и системы обращения с РАО

Период	Годы	Развитие атомного энергопромышленного комплекса	Обращение с РАО
Далекое прошлое	1948–1953	Создание ядерного оружейного комплекса (ЯОК)	Размещение ЖРО в Карачае
	1954–1963	Первая АЭС	Авария на хранилище ЖРО
	1964–1985	Пуск ВВЭР-440, АМБ, РБМК, ЭГП, РТ-1, ВВЭР-1000	Ввод в эксплуатацию полигонов глубинной закачки ЖРО (ПГЗ ЖРО). Первые решения по закрытию Карачая. Утечки ЖРО на НВАЭС и БелАЭС
	1986–1989	Чернобыль, останов энергоблоков БелАЭС, НВАЭС, прекращение строительства АЭС	
	1990–2005	Расширение парка ВВЭР-1000 – БалАЭС, РостАЭС	Кризис на ТКВ. Утверждение комплексного плана по ПО «Маяк» (2003 г.).
Недавнее прошлое	2006–2007	Принятие ФЦП развития и ФЦП ЯРБ	Ратификация Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами
	2008–2019	Ввод энергоблоков на Рост АЭС, ЛАЭС-2, НВАЭС-2. Пуск БН-800. Формирование портфеля заказов на сооружение АЭС за рубежом. Принятие стратегии до 2100 года. Принятие ФЦП по ядерным энерготехнологиям нового поколения	Принятие закона об обращении с РАО (190-ФЗ). Формирование НО РАО и ЕГС РАО. Реализация ФЦП ЯРБ и ФЦП ЯРБ-2. Закрытие объекта «Карачай». Пуск ППЗРО 3 и 4 классов. Принятие стратегии создания ПГЗРО
Ближайшее будущее	2020–2040	Развитие технологий ВВЭР и БР, прохождение технологических развилки по БРЕСТ-300 и БН-1200	Формирование системы захоронения РАО для всех типов образующихся отходов, работы по наследию, ВЭ по варианту ликвидации
Далекое будущее	2040–2100	Формирование АЭПК с двухкомпонентной атомной энергетикой и полным циклом обращения с ОЯТ и РАО	

вопроса о целесообразности практически бес-срочного хранения на АЭС РАО, в том числе не-переработанных твердых и жидких. В плановой экономике финансовые ресурсы государства могли быть в нужный момент привлечены для покрытия всех расходов на обращение с ОЯТ и РАО. Смена общественно-экономической формации изменила ситуацию. Продолжавшееся и в постсоветский период накопление проблем в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности [2] потребовало специальных мер — были приняты важные решения, в том числе по разработке и реализации федеральных целевых программ.

Недавнее прошлое. Ратификация Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим ядерным топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами (декабрь 2005 г.) и начало реализации ФЦП ЯРБ (2008 г.) стали первыми шагами в создании нормативно-правовых и инфраструктурных условий, исключающих генерацию новых проблем в будущем. Итогом этих шагов стало вступление в силу базового закона в этой области, который установил требования в отношении кондиционирования РАО и передачи их на захоронение [3], которыми до 2011 года эксплуатирующие организации не были обременены по причинам, описанным ранее. Кроме того, законом были введены положения о Единой государственной системе обращения с РАО и об органе управления этой системой, а также о специальной организации — национальном операторе по захоронению РАО. Уже в 2011 году, на фоне позитивной оценки нового законодательного акта, в работе [4] отмечались самые сложные моменты развертывания системы — формирование компетентного национального оператора и создание подзаконной нормативной базы. Специальные статьи закона предусматривали меры административного стимулирования развития ЕГС РАО на первом, втором и третьем этапах ее создания. Первые два этапа были реализованы в полном объеме, поскольку подкреплялись соответствующими планами, которые утверждало Правительство России. Нормативные и организационные основы ЕГС РАО были полностью сформированы, в том числе созданы национальный оператор и специальный резервный фонд, начались работы по развертыванию системы захоронения. На протяжении всех этих этапов нормативная база и инфраструктура ЕГС РАО, к сожалению, формировались при очень слабом влиянии организаций — производителей РАО. Эта независимость в какой-то мере объясняет большой объем накопленных РАО и до

последнего времени не преодоленную до конца инертность производителей РАО в осознании новых требований в сфере обращения с РАО и связанных с ними издержек.

В этот период успешно реализовывались отдельные проекты в сфере координации работ по обращению с РАО, ориентированные на региональные проблемы и отдельные проблемные объекты. Первым примером этого стал Стратегический мастер-план (СМП) комплексной утилизации атомных подводных лодок и реабилитации береговых баз, который позволил оптимизировать финансирование работ в рамках глобального сотрудничества [5]. Условия организации и финансирования этой разработки были определены международным «Фондом экологического партнерства Северного измерения». Они исходно предусматривали фундаментальность работы по таким параметрам, как сроки (три года); структура конечных результатов, в том числе информационная система управления проектом; система качества разработки, в том числе тотальная экспертиза со стороны независимых компаний; высокий уровень представления этапных и конечных результатов. В целом пример разработки СМП по Северо-Западу глубоко позитивен, но в рамках рассматриваемой темы весьма ограничен — вопросы развития объектов атомной отрасли в нем практически не рассматривались.

Другая разработка в области стратегического планирования — СМП по Теченскому каскаду водоемов(ТКВ) [6] — также дает ограниченный опыт. В его рамках естественным образом фигурировали вопросы о прекращении сбросов ЖРО и о строительстве АЭС или иного ядерного комплекса, который использовал бы воды ТКВ для охлаждения, но они были вторичными в сравнении с безопасностью объекта, содержащего около $3,5 \cdot 10^8$ м³ ЖРО.

Стратегия создания ПГЗРО [7], подкрепленная стратегическим планом исследований в обоснование долгосрочной безопасности объекта [8], уже напрямую предусматривает деятельность эксплуатирующих организаций по подготовке образовавшихся и образующихся у них РАО к их захоронению. Разработка этих документов, осуществлявшаяся с привлечением лучших компетентных специалистов страны, позволила выявить большое количество позиций в проекте ПГЗРО, нуждающихся в дополнительном исследовании и анализе. Соответствующие меры, в том числе по корректировке проекта, предусмотрены указанными документами. Кроме этого, она определила задачи, которые должны быть решены эксплуатирующими организациями, в

результате деятельности которых образуются РАО. Среди них — определение характеристик ранее накопленных остеклованных отходов, внесение изменений в системы контроля действующих технологий с целью своевременного определения недостающих параметров и идентификация образующихся РАО класса 2, поскольку в утвержденных (проектных) параметрах объекта указывалось на возможность размещения 150 тыс. м³ РАО класса 2, происхождение и характеристики которых не были установлены. В Стратегии закреплены меры, которые позволят организовать работы для уточнения этих вопросов. По этим причинам два документа [7, 8] можно однозначно отнести к документам, формирующим взаимодействие организаций разных блоков отрасли.

В целом, за неполные 10 лет с момента формулирования основного замысла по ЕГС РАО, произошли существенные и позитивные изменения [9]. Не утверждая, что эти начальные стадии формирования ЕГС РАО полностью завершены, попытаемся показать, что назрело более общее согласование этапов развития ядерных технологий и этапов формирования системы захоронения, а согласование отдельных ключевых дат начала или завершения функционирования отдельных технологий стало более чем актуальным. Причем источником этих требований в большинстве случаев становятся технологии обращения и захоронения РАО, а если принимать во внимание начальные требования, то они были связаны с экологическими проблемами: безопасность для человека и для объектов живой природы. Предположительно, промышленность также будет формулировать требования двух видов: много частных, касающихся захоронения конкретных типов РАО, и одно системное, касающееся эффективности захоронения, то есть по структуре системы, по сопутствующей инфраструктуре и, самое главное — по стоимости и своевременности захоронения РАО.

Поясним суть основной проблемы текущей ситуации. В основе регулирующих документов лежат критерии отнесения к радиоактивным отходам, критерии отнесения РАО к особым и критерии классификации для захоронения РАО, утвержденные соответствующим постановлением Правительства России в 2012 году. Не будем детально рассматривать первые два. Отметим только, что первые из них содержат бесконечно длинный перечень радионуклидов, в том числе не имеющих отношения к тематике РАО, и не учитывают специфики обращения с природными радионуклидами. А вторые, по отнесению к особым РАО, помимо основанных на безопасности компонентов, предусматривают еще и дополнительные административные ограничения по происхождению и местонахождению РАО, что чревато колоссальным ростом расходов на решение накопленных проблем. Критерии классификации РАО для захоронения принципиальны для системы обращения, поскольку именно они должны определить технические решения по обеспечению безопасности захоронения РАО. В качестве основного критерия выступают значения активности без учета периода полураспада, следствием чего является отнесение любых отходов высокой активности к классу 2, что требует очень дорогого захоронения в глубоких геологических формациях и принципиально неверно в отношении короткоживущих РАО с периодом потенциальной опасности до 500 лет. Другим крупным недостатком этих критериев является отсутствие отдельного класса для РАО очень низкой активности и, соответственно, тарифов на их захоронение. Следствием этого является высокая стоимость захоронения отходов очень низкой активности. Возможны ситуации (рис. 1), когда через очень короткий (50—100 лет) промежуток времени отдельные упаковки перестают быть РАО, а оплаченный тариф основан на конструкции объекта, которая продолжает обеспечивать безопасность

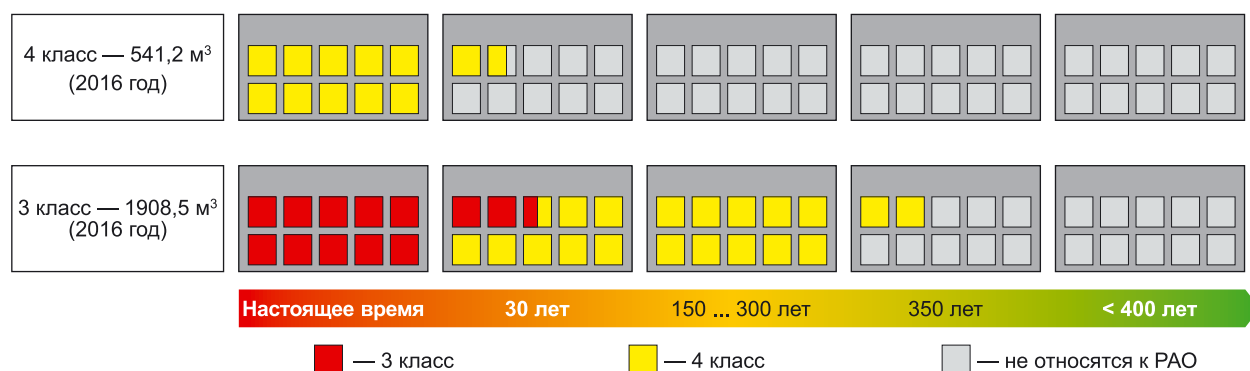


Рис. 1. Поведение РАО при размещении в ППЗРО 3 и 4 классов

на многократно больший срок. Ситуацию усложняет и уже сложившаяся практика проектирования и сооружения ППЗРО 3 и 4 классов с одинаковыми конструктивными решениями для обеих категорий.

Указанные обстоятельства неоднократно обсуждались [10, 11] и, безусловно, временны. Хорошим признаком близкого разрешения этих проблем является утвержденный Правительством России план реализации Основ государственной политики в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности, которым в 2020 году предусмотрено внесение изменений в соответствующее постановление Правительства России.

Ближайшее будущее. С учетом изложенного и рассмотренных далее вопросов далекого будущего справедливо утверждение о том, что именно эффективность и согласованность развития ЕГС РАО с развитием АЭПК в ближайшие десятилетия будет определять приемлемость атомной энергетики в целом, в том числе экспортный потенциал в данной области. Отметим при этом, что до последнего времени объемы образования РАО на АЭС российского дизайна, так же как и вопросы их оптимизации, оставались за рамками рассмотрения в научно-технической литературе, хотя первые публикации на эту тему [12, 13] и открытые данные отчетов Концерна «Росэнергоатом» являются предпосылками к такому анализу.

Основной вопрос взаимодействия ЕГС РАО и предприятий отрасли — передача РАО на захоронение, эффективность которой определяется структурой и размещением объектов захоронения, применяемыми упаковками и средствами транспортирования, процедурами контроля соответствия передаваемых упаковок критериям приемлемости. Себестоимость контроля РАО ненулевая, но должна определяться на последующих этапах, после формирования релевантной системы захоронения. Накопленный опыт, реализованный в рамках создания ЕГС РАО, в том числе работы по первоочередным объектам захоронения, создал основу для более долгосрочного и сбалансированного планирования ее развития, но одновременно продемонстрировал

тяжесть ключевого вопроса — о размещении объектов. Вероятно, ситуация улучшится в силу роста экологического сознания общества. Одним из стимулов прогресса может оказаться неизбежный выход из кризиса в области захоронения отходов производства и потребления, в рамках которого должны быть разрешены многие коллизии, возникающие при размещении объектов захоронения отходов всех типов. При этом формулировка требований по объемам, классам и местоположению объектов захоронения должна исходить от эксплуатирующих ЯРОО организаций. Оценки, выполненные в отношении накопленных удаляемых РАО в период первичной регистрации, составили почти 530 тыс. м³ ТРО и 170 тыс. м³ ЖРО. Их нельзя признать реалистичными, особенно с учетом РАО от вывода из эксплуатации.

Рассмотрение вопроса согласования этапов развития ЕГС РАО начнем с частных, но крупных задач, предполагая, что их практическое решение позволит потом перейти и к общим вопросам согласования параметров системы захоронения с параметрами развития АЭПК, во-первых, и решения накопленных проблем, во-вторых.

При формировании перечня подлежащих согласованию этапов развития будем ориентироваться на следующий порядок: история появления вопроса, источник и характер требований, адресат требований в АЭПК или в его компоненте, отвечающей за развитие ЕГС РАО, ссылка на описание ситуации или ее раскрытие, характер первого требуемого решения и его сроки, возможные издержки от непринятия решения. Первые шесть характеристик будем приводить в табличной форме, а издержки и иные комментарии — в текстовой. В необходимых случаях также будут даваться иные комментарии. Начнем с ситуаций, содержательная часть которых частично уже была описана.

Тепловыделение остеклованных РАО (табл. 2). Вплоть до последнего времени в стране реализовывалась одна технология остекловывания РАО от переработки ОЯТ на ФГУП «ПО «Маяк». Удельная активность получаемого при ее использовании стекла в целом позволяла

Таблица 2. Основные характеристики проблемной ситуации по ограничению на тепловыделение остеклованных РАО от переработки ОЯТ (класса 1)

Происхождение/ источник требований	Характер требований	Адресат требований	Необходимое решение	Сроки
Критерии приемлемости	Предельное тепловыделение	Установки остекловывания ОДЦ переработки ОЯТ на ГХК	Установление срока начала захоронения РАО этого типа, то есть организованный подбор ОЯТ для формирования партий, направляемых на переработку	2020 г. (пуск установки остекловывания)

осуществлять его захоронение в соответствии с принятыми в мире критериями по мощности тепловыделения ВАО (1 кВт/м³) после некоторой выдержки или без нее. В ближайшие годы в составе опытно-демонстрационного центра (ОДЦ) по переработке ОЯТ планируется запуск установок остекловывания, в которых декларируются существенно более высокие показатели активности стекла и, соответственно, его тепловыделения. Возникает вопрос о том, как будет перерабатываться ОЯТ — в порядке поступления или организованным образом, как это предлагается в работе [14].

В случае непринятия решения возможно формирование неорганизованного потока остеклованных РАО, часть которого будет уже чрезмерно остывшим к моменту захоронения в ПГЗРО, а часть будет требовать сверхдлительных сроков хранения. Близкая, но несколько иная по содержанию ситуация с пуском технологий ОДЭК БРЕСТ-300 в части наработки и последующей пристанционной переработки ОЯТ в рамках проектного направления «Прорыв». Здесь будет сформирован новый поток РАО, который, даже с учетом фракционирования на первых этапах, потребует геологического захоронения [15].

Реакторный графит (табл. 3). В действующих и остановленных реакторных установках России накоплено около 60 тыс. тонн реакторного графита, большая часть которого должна быть удалена из реакторных установок и захоронена. В рамках действующих норм основная часть реакторного графита отнесена к РАО класса 2, захоронение которого очень дорого.

Основная причина — концентрации ¹⁴C в графите, которые превышают установленное для класса 3 значение. Дороговизна такого захоронения хорошо понимается всеми. Отражением этого обстоятельства является поиск технологий дезактивации графита, который сводится к банальному переводу ¹⁴C из одной формы (хорошо фиксированный в кристаллической решетке) в другую (выбросы или радиоуглерод на фильтрах). Детально проблема рассмотрена в работе [16], основной вывод из которой — рассматривать вопросы дезактивации графитовых отходов нецелесообразно, поскольку графит является неплохой матрицей, обеспечивающей удержание ¹⁴C.

В случае непринятия решения неизбежны высокие затраты на глубинное захоронение реакторного графита или его промежуточное хранение, или продолжение содержания графитовых кладок реакторов РБМК.

Захоронение ЖРО (табл. 4). Ратификация Объединенной конвенции вывела на международный уровень признание в качестве приемлемой применяемую только в России технологию захоронения ЖРО в подземные пласты-коллекторы. Попытки доказать возможность отнесения данной технологии к так называемым лучшим практикам, пропагандируемым МАГАТЭ, успехом не завершились. Миссия МАГАТЭ, отметив эксплуатационную безопасность технологии, выдала большое количество замечаний в отношении обоснования долгосрочной безопасности. Соответствующая программа реализуется [17].

Таблица 3. Основные характеристики проблемной ситуации по захоронению графита

Источник требований	Характер требований	Адресат требований	Необходимое решение	Сроки
Снижение затрат. Подходы к захоронению РАО за рубежом. Работы по ВЭ реакторов РБМК и отдельных промышленных реакторов	Отказ от глубинного захоронения	Инвестиционная программа ФГУП «НО РАО»	1. Корректировка критериев классификации удаляемых РАО. 2. Формирование требований к площадкам. 3. Организация поиска площадок для захоронения графита в глинистых формациях и разработка проектных решений объектов	1. 2020 г. 2. 2021–2022 гг. 3. 2023–2030 гг. Определены на основе обратного отсчета от начала работ по демонтажу активных зон РБМК. К этому периоду должен быть реализован специализированный ППЗРО и получен опыт эксплуатации (загрузка графита АМБ)

Таблица 4. Основные характеристики проблемной ситуации по захоронению ЖРО

Источник требований	Характер требований	Адресат требований	Необходимое решение	Сроки
ОК, 190-ФЗ, Миссия МАГАТЭ	Отказ от захоронения ЖРО и качественная подготовка к долгосрочной безопасности	Три эксплуатирующие организации, опирающиеся на эту технологию, и ФГУП «НО РАО»	1. Приказ о разработке технологий, исключающих захоронение ЖРО, сроках их ввода в эксплуатацию и проработке вопросов закрытия ПГЗ ЖРО	1. 2021 г. (Седьмое совещание) 2. 2024 г. (Восьмое совещание)

Таблица 5. Основные характеристики проблемной ситуации по ОНРАО

Источник требований	Характер требований	Адресат требований	Необходимое решение	Сроки
Эффективность захоронения	Отказ от совместного захоронения РАО классов 3, 4 и ОНРАО	ФГУП «НО РАО» и эксплуатирующие организации, которые могут получить право на захоронение таких РАО	Отраслевая программа по созданию пунктов захоронения ОНРАО	2020–2025 гг.

На сегодняшний день можно констатировать, что, помимо дискуссий в рамках соответствующих совещаний по Объединенной конвенции, есть пример увязки прекращения закачки с заключением крупных международных контрактов. На СХК, например, в обеспечение заключения такого контракта сооружается комплекс отверждения РАО. Но в целом эксплуатирующими организациями, в том числе ГХК и НИИАР, не осознана до конца серьезность требований по закрытию ПГЗ ЖРО в контексте международной деятельности и экспорта технологий, в частности строительства АЭС за рубежом и переработки зарубежного ОЯТ. Единственным воспринимаемым на международной арене доводом в пользу продолжения эксплуатации полигонов является захоронение ЖРО от вывода из эксплуатации старых производств, в том числе удаление ЖРО из приповерхностных водоемов-хранилищ ЖРО на СХК и ГХК.

Захоронение РАО очень низкой активности (табл. 5). Развитие АЭПК должно сопровождаться освобождением старых площадок от неиспользуемых зданий и сооружений. Нарастание объемов работ по выводу из эксплуатации, в том числе выход на демонтаж крупных объектов, актуализируют задачу создания системы захоронения отходов низкой и очень низкой активности, и даже сегодняшние объемы образования ОНРАО требуют реальных действий. На АЭС России, например, по данным годового отчета в 2018 году образовалось более 5,1 тыс. м³ ТРО ОНРАО, что составляет более 80% от всех ТРО. До последнего времени ФГУП «НО РАО» не сформировало план действий в данной области. Более того, сегодня возводятся объекты для захоронения РАО классов 3 и 4 в одном сооружении, что неизбежно приводит к значительным экономическим затратам. Очевидно, что определенные проблемы для подобной ситуации были сформированы критериями классификации, где ОНРАО практически не выделены в отдельный класс. Возможно, они будут устранены в ближайшие годы, в том числе путем получения прав на сооружение таких объектов отдельными эксплуатирующими организациями. Но, по существу, это большая отраслевая проблема, которая может быть лучшим образом решена вместе с проблемой захоронения

промышленных отходов с повышенным содержанием радионуклидов.

Упаковки для захоронения РАО. Существующую ситуацию с массовым применением чрезвычайно дорогих контейнеров, например типа НЗК, следует считать более чем неудовлетворительной. Напомним, что тариф установлен за единицу объема упаковки РАО, передаваемой на захоронение, а все применяемые сегодня упаковки являются невозвратными и дают дополнительную нагрузку и по стоимости, и по оплачиваемому объему. Для контейнера НЗК, например, это 1/3 объема (рис. 2). Часть из него обеспечивает должные прочностные средства и ограничение на мощность дозы при перевозке отходов и осуществлении перегрузочных операций, хотя это может быть достигнуто и иным способом. За большую и ненужную часть этой 1/3 эксплуатирующая организация платит трижды. Во-первых, в рамках тарифа на захоронение, то есть оплачивает, но не пользуется. Во-вторых, платит за лишние «металл» и «бетон», которыми не пользуется. В-третьих, оплачивает транспортирование дополнительного веса. В итоге стоимость оплаченного захоронения может превышать разумные величины в разы и даже

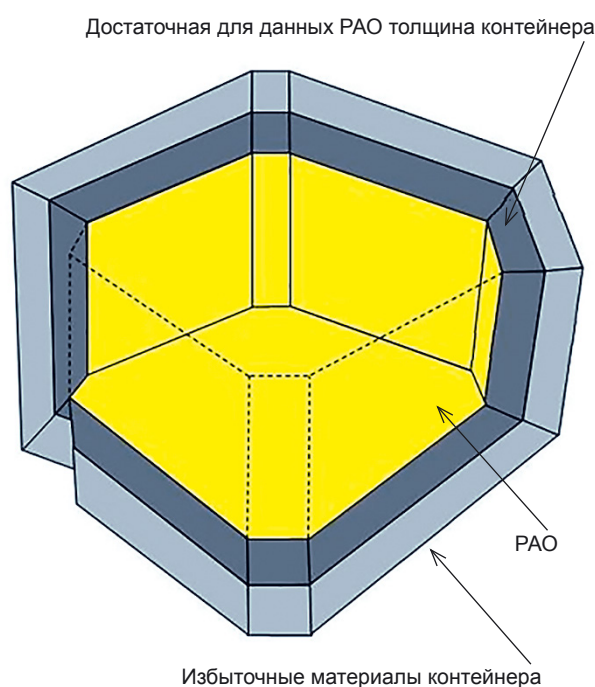


Рис. 2. Использование материалов контейнера

Таблица 6. Основные ценовые параметры ЕГС РАО

Класс	Тариф, тыс. руб./м ³	Состояние объектов захоронения	Применяемые контейнеры	Стоимость контейнера, тыс. руб./шт.
1	1424	Проектируется, сооружается ПИЛ	Уточняется	Не определена
2	662			
3	152	Проектируются, сооружаются и эксплуатируются ПЗРО 3 и 4 класса РАО	НЗК-150-1.5П (В) НЗК-150-1.5П АТ28/29/30 НЗК-Радон	80–110
4				
4 (ОНРАО)		Деятельность не ведется	КРАД-1,36 КРАД-3,0 МК-1,36А	80–100

десятки раз. На зачастую низкие уровни активности передаваемых для захоронения РАО обращено внимание в работах [18, 19], что вызывает надежду на формирование в будущем дополнительных требований для исполнителей работ.

В целом современная ситуация со стоимостью захоронения может быть охарактеризована как сложная (табл. 6). Причина — отсутствие заинтересованного и консолидированного заказчика на разработку современных и эффективных упаковок и корректировку, при необходимости, нормативной базы. Направлений развития множество, единственное требование по стандартизации — это весогабаритные характеристики и узлы для погрузочно-разгрузочных операций. Среди предложений в этой области и гибкие упаковки [20], и тонкостенные металлические контейнеры, и оборотные защитные чехлы, и, наконец, контейнеры из загрязненного металла [21].

Вполне возможно, что определенные проработки в этом направлении, в том числе системные, ведутся. Но в этом случае о них должна быть проинформирована научно-техническая общественность. До настоящего времени публикации на эту тему ни в специализированном научно-техническом журнале «Радиоактивные отходы», ни в каких-либо других периодических изданиях не обнаружены. Завершая тему упаковок для захоронения РАО, еще раз напомним, что это зона ответственности не национального оператора, а непосредственно эксплуатирующих организаций, в результате деятельности которых РАО образуются. И именно путем разработки всеобъемлющего, согласованного с национальным оператором плана она должна быть решена. Сроки решения являются открытыми, но каждый год использования неэффективных упаковок будет вызывать дополнительные расходы в десятки и сотни миллионов рублей.

Иные аспекты. В прошлом мы уже имели примеры, когда инициативы в сфере повышения

эффективности генерации наталкивались на ограничения, связанные с завершающими стадиями жизненного цикла (ЗСЖЦ). Так, повышение выгорания ядерного топлива натолкнулось на ограничения, связанные с его транспортированием и переработкой. В настоящее время подобная ситуация может сложиться с так называемым толерантным топливом. Его внедрение в открытом топливном цикле ничему не противоречит, однако в случае ориентации на замкнутый ЯТЦ технологии его переработки явно подорожают. Пока эта оборотная сторона медали в научной литературе не обсуждается.

Нельзя не упомянуть и о сооружении АЭС за рубежом. До последнего времени успех российских предложений по строительству энергоблоков в немалой степени лежал в сфере стоимости сооружения объектов. Очевидно, что со временем он перейдет в сферу себестоимости генерации, где значимую роль будет играть образование РАО. Очевидно, что этот процесс не быстрый, но неизбежный. Поэтому вопрос о снижении образования РАО, повышении эффективности их переработки и, соответственно, снижении стоимости их захоронения будет становиться все более актуальным.

Перспективы до конца века. Позитивную роль стратегического документа [1] мы уже отмечали. Вместе с тем по имеющимся в Стратегии положениям относительно проблематики обращения с РАО необходимы два комментария.

Первый из них касается открытого ЯТЦ. В Стратегии сформулировано так: «Для открытого ЯТЦ (реакторы с тепловым спектром нейтронов без использования МОКС/РЕМИКС-топлива) объем хранимого на складе ОЯТ к 2100 году потребует значительного расширения существующей инфраструктуры, а также не соответствует концепции утвержденной государственной политики по обращению с ОЯТ и РАО» [1, с. 20]. Первая часть этого утверждения сформулирована в целом верно. Вторая часть

адресуется к несуществующему документу, поскольку утвержденные Президентом России «Основы государственной политики в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности» (далее — Основы) однозначно ориентируют на наращивание мощностей переработки ОЯТ и захоронения РАО на период до 2030 г. Более того, Основами предусмотрено, что оценка эффективности мер по реализации государственной политики должна проводиться, в частности, по следующим показателям: в) соотношение переработанного отработавшего ядерного топлива и его общего объема; г) количество (объем) и активность особых радиоактивных отходов, размещенных в пунктах консервации особых радиоактивных отходов и (или) пунктах захоронения радиоактивных отходов; д) соотношение объема кондиционированных и размещенных в пунктах захоронения радиоактивных отходов и общего объема накопившихся и образовавшихся удаляемых радиоактивных отходов (раздел V Основ).

Второй комментарий связан с попыткой оттолкнуться от захоронения РАО как проблемы, не имеющей решения в традиционном для большей части стран представлении — в варианте прямого захоронения ОЯТ и существующих технологий переработки ОЯТ. В разделе Стратегии [1] указывается: «Безопасность захоронения РАО на сотни тысяч и миллионы лет вызывает вполне обоснованные сомнения относительно надежности столь долговременных прогнозов. Организация пережигания и трансмутации наиболее долгоживущих изотопов в энергетических реакторах на быстрых нейтронах или в специализированных критических/подкритических реакторах, расположенных на централизованных предприятиях по рефабрикации топлива, позволяет сделать убедительными доказательства безопасности обращения с РАО». Примерно так же он формулируется в концепции жидко-солевого реактора — сжигателя минорных актиноидов, которые ставят под вопрос дальнейшее развитие атомной энергетики [22].

По нашему мнению, в этих утверждениях не вполне правильно расставлены акценты. В международной истории атомной энергетики, которая насчитывает более пяти полноценных десятилетий, уже реализованы многие варианты ее развития: устойчивого развития (Китай, Индия); развития и медленного сворачивания (Франция); развития и решительного сворачивания (Германия); развития и стагнации (США); полного отказа и перезапуска (Армения); устойчивого развития и масштабного останова после катастрофы (Япония). Ни в одном из сценариев

доводы об особой опасности минорных актиноидов не были решающими. Проблема обращения с ОЯТ и РАО имела свой негативный подтекст, но он был глубоко вторичным в сравнении с негативным восприятием тяжелых аварий и последствиями ядерной деятельности в оборонных целях. То есть основная причина — в нерешенных проблемах прошлого и настоящего, в том числе в неразвитости или неполноте системы захоронения в подавляющем большинстве стран. Поэтому позиционировать возможность их решения только в рамках будущих технологий, одновременно ставя под сомнение выстроенную на международном уровне систему требований по безопасности захоронения ОЯТ и РАО, нецелесообразно или даже опасно. Напротив, мы должны уверенно демонстрировать, что проблемы и прошлого, и настоящего решаемы, и только на этой основе предлагать еще более безупречные технологии, может быть, с ущербом для экономики в ее сегодняшних инструментариях оценки экологических аспектов. Утверждения об отсутствии экономических преимуществ технологий дожигания долгоживущих трансурановых элементов, содержащиеся в авторитетном анализе [23], также могут претерпеть изменения вследствие сегодняшней недооценки экологических аспектов. Но вот с выводом из другой, тоже авторитетной работы [24], мы считаем необходимым полностью согласиться и привести две цитаты из нее. Первая касается роли инвестиций, в том числе в новые реакторные технологии, с точки зрения необходимости работ по геологическому захоронению уже накопленных РАО. Ответ комиссии звучал примерно так: «Иными словами, мы не верим, что сегодняшние технологии рецикла или технологические разработки 3–4 десятилетий повлияют на необходимость интегрированной стратегии по размещению и лицензированию пункта (пунктов) захоронения. Это в особой мере относится к ВАО оборонных производств и некоторых форм федерального ОЯТ, которые могут и должны быть отнесены к приоритетным для прямого захоронения в подходящем хранилище». Вторая цитата также близка отстаиваемым нами позициям: «Наш вывод в отношении необходимости мощностей геологического захоронения не зависит от позиции, которая может быть сформирована по вопросу о замыкании ЯТЦ в США».

Отметим, что этот вывод справедлив и для России, поскольку мы имеем большое количество накопленных отходов, а отличия текущих национальных политик России и США по рассматриваемому вопросу не столь принципиальны. В части

развития реакторных технологий: в США — признание возможных научно-технических прорывов в сфере ядерных технологий, в том числе наличие заявки компании Вестингауз на финансирование со стороны государства проекта реакторной установки со свинцовым теплоносителем, в России — приоритет в технологиях реакторов на быстрых нейтронах и реализация госпрограммы по новым реакторным технологиям, в том числе по реакторной установке БРЕСТ-300. В части захоронения, в том числе геологического: в США — функционирование системы могильников РАО и приостановление работы по ПГЗРО «Юкка Маунтин», в России — создание системы приповерхностных ПЗРО и начало работ по геологической ПИЛ и ПГЗРО.

Завершая экскурс в зарубежный опыт, констатируем, что согласование долгосрочных стратегий развития ядерных технологий и технологий захоронения РАО в части долгосрочной перспективы потребуются в будущем, но создание системы захоронения для уже накопленных РАО, в том числе объектов геологического захоронения, остро необходимо. Эта потребность поддерживается на государственном уровне и признается большинством специалистов мира и России.

Важно определить срок, в который необходимо начать детализированную проработку взаимоотношения развития новых реакторных технологий и соответствующей трансформации системы захоронения ЕГС РАО. В качестве такого срока определим прохождение предусмотренных Стратегией [1] технологических развилок, первой из которых, наверное, следует признать опыт эксплуатации реакторной установки БРЕСТ ОД-300, то есть после 2030 года. Успехи в развитии технологий будут сигналом к более детальному рассмотрению вопроса трансформации систем обращения с привлечением

всего арсенала инструментов стратегического планирования. При этом уже накопленные РАО, существующий и сооружаемый парк реакторных установок и ядерных технологий определяют необходимость создания и функционирования на протяжении многих десятилетий полномасштабной системы захоронения всех типов.

Инструменты реализации предложений. Опыт показал, что наиболее подходящими являются методы стратегического планирования. При этом отличительной чертой их применения в рамках рассматриваемых предложений является тщательная экспертиза технических решений. Ни одно из положений не должно приниматься без детального обоснования. Другой особенностью является ориентация не на содержание директивных и нормативных документов, а на оценки безопасности и стоимости ее достижения. Это предложение отталкивается от оптимистичного взгляда на будущие директивные и регулирующие документы. Иными словами, разработка стратегических планов должна включать и необходимую научную поддержку высшей квалификации, и необходимое и содержательное участие эксплуатирующих организаций.

Выводы

В качестве основных процессов и задач, требующих тесного сотрудничества организаций комплекса ЗСЖЦ и эксплуатирующих организаций отрасли, определено пять позиций с разными горизонтами принятия ключевых решений (табл. 7).

В каждом из рассмотренных случаев речь идет не только о потенциальной экономии миллиардов рублей, но и об экологическом облике отрасли и демонстрации квалифицированного

Таблица 7. Ключевые вопросы согласования ЕГС РАО и производственной деятельности АЭПК

№	Аспект	Зарубежный опыт	Начало реализации лучших практик (годы)	Масштаб экономических потерь (в рублях) в случае непринятия обоснованных решений
1	Остеклованные РАО от переработки ОЯТ	Есть	2020	Более 1 млрд (строительство дополнительного хранилища и хранение до 50 лет)
2	Реакторный графит	Поиски площадок и концепции ПГЗРО на небольших глубинах	2020–2025	Более 1 млрд на блок РБМК
3	Захоронение ЖРО	Нет	2021–2024	Потери экспортных контрактов
4	ОНРАО	Есть	2020–2025	Не менее 0,3 млрд в год при захоронении в ПЗРО класса 3 и 4
5	Новые упаковки для захоронения, в том числе из загрязненного металла	Есть	2025–2030	Несколько млрд (глубокая очистка или захоронение МРО как РАО)

планирования и ответственности перед будущими поколениями.

В целом имеются инструменты проработки решений по вопросам отраслевой важности, в том числе по удаленным во времени горизонтам, а также значимый опыт стратегического планирования.

Вопрос классификации РАО для целей захоронения является знаковым. Слишком очевидны некоторые из недостатков существующей схемы и слишком долго они обсуждаются, зачастую без выраженной позиции заинтересованных сторон.

Литература

1. Стратегия развития ядерной энергетики России до 2050 года и перспективы на период до 2100 года / Одобрено решением Президиума НТС ГК «Росатом» 26 декабря 2018 г. – М., 62 с.

2. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Т. 1. / Под общ. ред. Е. В. Евстратова, А. М. Агапова, Н. П. Лаверова, Л. А. Большова, И. И. Линге. – М.: ОАО «Энергопроманистика», 2012. – 356 с.

3. Комментарий к Федеральному закону «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Изд. 2-е, доп. Под ред. Ельфиновой Т. Л. – М.: Аппарат Государственной Думы, 2014. – 208 с.

4. *Большов Л. А., Линге И. И., Уткин С. С. и др.* Становление национальной системы обращения с радиоактивными отходами: уроки, успехи, ожидания // Атомная энергия, 2011, Т. 111. Вып. 3. С. 126–131.

5. Стратегические подходы к решению экологических проблем, связанных с выведенными из эксплуатации объектами атомного флота на Северо-Западе России / С. В. Антипов, Р. В. Арутюнян, Л. А. Большов и др.; под ред. акад. А. А. Саркисова; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М.: Наука, 2010. – 346 с.: ил. – ISBN 978-5-02-037489-8 (в пер.).

6. Стратегический мастер-план решения проблем Теченского каскада водоемов ФГУП «ПО «Маяк» / ИБРАЭ РАН и др. – Утв. ген. Директором Госкорпорации «Росатом» 12.02.2016.

7. Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2018. № 2 (3). С. 114–120.

8. *Дорофеев А. Н., Большов Л. А., Линге И. И., Уткин С. С., Савельева Е. А.* Стратегический мастер-план исследований в обоснование безопасности сооружения, эксплуатации и закрытия пункта глубинного захоронения радиоактивных

отходов // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 32–41.

9. *Абрамов А. А., Дорофеев А. Н.* Современное состояние и перспективы развития системы обращения с РАО в Российской Федерации // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 10–21.

10. *Дорофеев А. Н., Линге И. И., Самойлов А. А., Шарафутдинов Р. Б.* К вопросу финансово-экономического обоснования повышения эффективности нормативной базы ЕГС РАО // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 22–31.

11. Решение секции № 1 «Экологическая и радиационная безопасность пунктов долговременного хранения, консервации и захоронения РАО» НТС № 10 «Экология и радиационная безопасность» Госкорпорации «Росатом» от 12 апреля 2019 г. «По вопросу обоснования долгосрочной безопасности приповерхностных пунктов захоронения ТРО 3 и 4 классов».

12. *Качан П. П., Краснов И. М., Стахив М. Р.* Опыт эксплуатации комплекса переработки радиоактивных отходов на Смоленской АЭС // Радиоактивные отходы. 2018. № 1 (2). С. 34–41.

13. *Авезниязов С. Р., Стахив М. Р.* Опыт работы по обращению с ЖРО на Кольской АЭС // Радиоактивные отходы. 2018. № 4 (5). С. 49–54

14. *Блохин П. А., Дорофеев А. Н., Линге И. И., Меркулов И. А., Сеелев И. Н., Тихомиров Д. В., Уткин С. С., Хаперская А. В.* О возможностях управления характеристиками боросиликатного стекла при переработке ОЯТ ВВЭР-1000 на ОДЦ «ГХК» // Радиоактивные отходы. 2019. № 2 (7). С. 49–57. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-49-57

15. *Кащеев В. А., Шадрин А. Ю.* Обращение с РАО от переработки смешанного нитридного уран-плутониевого ОЯТ // IX Российская конференция «Радиохимия 2018». Сборник тезисов, г. Санкт-Петербург. 2018. С. 394.

16. *Дорофеев А. Н., Комаров Е. А., Захарова Е. В., Волкова А. Г., Линге И. И., Иванов А. Ю., Уткин С. С., Павлюк А. О., Котляревский С. Г.* К вопросу захоронения реакторного графита // Радиоактивные отходы. 2019. № 2 (7). С. 18–30. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-18-30

17. *Дорофеев А. Н., Савельева Е. А., Уткин С. С., Понизов А. В., Шарафутдинов Р. Б., Кудрявцев Е. Г., Пронь И. А., Коновалов В. Ю.* Эволюция обоснования долговременной безопасности ПГЗЖРО // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 55–64.

18. *Абрамов А. А., Дорофеев А. Н., Дерябин С. А.* Развитие ЕГС РАО в рамках работ по Федеральной целевой программе обеспечения ядерной и радиационной безопасности // Радиоактивные отходы. 2019. № 1 (6). С. 8–24.

19. *Пронь И. А., Коновалов В. Ю.* Опыт эксплуатации приповерхностного пункта захоронения

- радиоактивных отходов 3 и 4 классов // Радиоактивные отходы. 2018. № 4(5). С. 8–14.
20. Радченко М. В., Кормилицына Л. А., Матюнин Ю. И., Могулян В. Г. Многоцелевые упаковки для радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. 2017. № 1. С. 74–84.
21. Блохин П. А., Ванев Ю. Е., Панченко С. В. Оценка возможности повторного использования металлических радиоактивных отходов в атомной промышленности // Атомная энергия. 2014. Т. 117. № 2. С. 81–84.
22. Пономарев Л. И., Белоногов М. Н. и др. Быстрый жидкосолевым реактор на основе эвтектики LiF-NaF-KF как сжигатель Np, Am, Cm // Атомная энергия. 2019. Т. 126, вып. 3. С. 123–135.
23. The Future of the Nuclear Fuel Cycle. An Interdisciplinary MIT Study. — Massachusetts Institute of Technology, 2011, 237 p.
24. Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future. Report to the Secretary of Energy. January 2012, 158 p.

Информация об авторах

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

Линге Игорь Иннокентьевич, доктор технических наук, заместитель директора, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Б. Тульская ул., д. 52), e-mail: linge@ibrae.ac.ru.

Библиографическое описание статьи

Большов Л. А., Линге И. И. О согласовании этапов развития атомного энергопромышленного комплекса и системы обращения с РАО // Радиоактивные отходы. 2019. № 3(8). С. 14–27. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-3-14-27.

BUILDING CONSISTENCY BETWEEN DEVELOPMENT STAGES OF NUCLEAR POWER COMPLEX AND RW MANAGEMENT SYSTEM

Bolshov L. A., Linge I. I.

Nuclear Safety Institute of RAS, Moscow, Russia

Article received on August 1, 2019

The paper discusses interactions between operating organizations generating radioactive waste and components of the Unified State System for Radioactive Waste Management. It presents the issues requiring some coordinated decision making in the short and long run, as well as the timeframes during which these decisions are to be made and implemented.

Key words: *Unified State System for Radioactive Waste Management, operating organization, borosilicate glass from SNF reprocessing, reactor graphite, very low-level waste, containers.*

References

1. Strategiya razvitiya yadernoj energetiki Rossii do 2050 goda i perspektivy na period do 2100 goda [Strategy for nuclear power development in Russia until 2100] Approved by the order of Scientific Technical Council's Presidium of the State Corporation Rosatom on the 26th of December, 2018. Moscow, 62 p.

2. Problemy yadernogo naslediya i puti ih resheniya. [Nuclear legacy challenges and their solutions]. Vol. 1. Under general ed. of E. V. Evstratov, A. M. Agapov, N. P. Laverov, L. A. Bolshov, I. I. Linge. Moscow, JSC Energopromanalitika Publ., 2012, 356 p.

3. Kommentarij k Federalnomu zakonu “Ob obrashchenii s radioaktivnymi othodami i o vnesenii izmenenij v otdelnye zakonodatelnye akty Rossijskoj Federacii”. [Explanatory note on the Federal Law On Radioactive Waste Management and Some Amendments Introduced to Particular Legal Acts of the Russian Federation]. 2nd edition, supplemented. Edt. By T. L. Elfimova. Moscow: Central Office of the State Duma, 2014, 208p.

4. Bolshov L. A., Linge I. I., Utkin S. S. et al. Stanovlenie nacionalnoj sistemy obrashcheniya s radioaktivnymi othodami: uroki, uspekhi, ozhidaniya [Establishment of the national radioactive waste management system: lessons learned, highlights and expectations]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2011, vol. 111, issue 3, pp. 126—131. (In Russian).

5. Strategicheskie podhody k resheniyu ekologicheskikh problem, svyazannyh s vyvedennymi iz ekspluatatsii obektami atomnogo flota na Severo-Zapade Rossii [Strategic approaches to addressing environmental issues associated with decommissioning of nuclear naval facilities in the North-West of Russia] S. V. Antipov, R. V. Aratyunyan, L. A. Bolshov et al.; under general ed. of A. A. Sarkisov; Nuclear Safety Institute of RAS. Moscow, Science Publ., 2010. 346 p.: fig. — ISBN 978-5-02-037489-8. (In Russian).

6. Strategicheskij master-plan resheniya problem Techenskogo kaskada vodoemov FGUP «PO «Mayak» [Strategic Master Plan Addressing the Challenges of the Techa Cascade of Water Reservoirs at PA Mayak site]. Nuclear Safety Institute RAS et al. — Approved by the Director General of the State Corporation Rosatom on February 12, 2016. (In Russian).

7. Strategiya sozdaniya punkta glubinnogo zahoroneniya radioaktivnyh othodov [Strategy for the development of a deep disposal facility for radioactive waste] *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2018, no. 2 (3), pp. 114—120. (In Russian).

8. Dorofeev A. N., Bolshov L. A., Linge I. I., Utkin S. S., Savelyeva E. A. Strategicheskij master-plan issledovanij v obosnovanie bezopasnosti sooruzheniya, ekspluatatsii i zakrytiya punkta glubinnogo zahoroneniya radioaktivnyh othodov [Strategic Master Plan for Research Demonstrating the Safety of Construction, Operation and Closure of Radioactive Waste Deep Disposal Facility]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2017, no.1, p. 32—41. (In Russian).

9. Abramov A. A., Dorofeev A. N. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya sistemy obrashcheniya s RAO v Rossijskoj Federacii [Radioactive Waste

Management System in the Russian Federation: State-of-Art and Perspectives for Development]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2017, no. 1, p. 10—21. (In Russian).

10. Dorofeev A. N., Linge I. I., Samoylov A. A., Sharafutdinov R. B. K voprosu finansovo-ekonomicheskogo obosnovaniya povysheniya effektivnosti normativnoj bazy EGS RAO [Enhancing the efficiency of USSR RW regulatory framework: financial and economic feasibility study]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2017, no.1, p. 22—31. (In Russian).

11. Decision of Section № 1 “Environmental and radiation safety of RW long-term storage, conservation and disposal facilities” STC № 10 “Ecology and radiation safety” of the State Corporation Rosatom of April 12, 2019 “On demonstrating the long-term safety of near-surface disposal facilities for SRW Class 3 and 4”. (In Russian).

12. Kachan P. P., Krasnov I. M., Stakhiv M. R. Opyt ekspluatatsii kompleksa pererabotki radioaktivnyh othodov na Smolenskoj AES [RW Processing complex at Smolensk NPP: Operational Experience]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2018, no.1 (2), p. 34—41. (In Russian).

13. Avezniyazov S. R., Stakhiv M. R. Opyt raboty po obrashcheniyu s ZHRO na Kol'skoj AES [Managing LRW at Kola NPP] *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2018, no. 4 (5), p. 49—54 (In Russian).

14. Blokhin P. A., Dorofeev A. N., Linge I. I., Merkulov I. A., Seelev I. N., Tikhomirov D. V., Utkin S. S., Khaperskaya A. V. O vozmozhnostyah upravleniya karakteristikami borosilikatnogo stekla pri pererabotke OYAT VVER-1000 na ODC “GHK” [On the potential of controlling borosilicate glass characteristics during SNF WWER-1000 reprocessing at PDC MCC] *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2019, no. 2 (7), p. 49—57. (In Russian). DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-49-57

15. Kashcheev V. A., Shchadrin A. Yu. Obrashchenie s RAO ot pererabotki smeshannogo nitridnogo uran-plutoniyevo OYAT [Managing RW from reprocessing of mixed nitride uranium plutonium SNF]. *Proceedings of the IX Russian Conference Radiochemistry* 2018, St.-Petersburg. 2018, 394 p. (In Russian).

16. Dorofeev A. N., Komarov E. A., Zaharova E. V., Volkova A. G., Linge I. I., Ivanov A. Yu., Utkin S. S., Pavlyuk A. O., Kotlyarovskiy S. G. K voprosu zahoroneniya reaktornogo grafita [On reactor graphite disposal]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2019, no. 2 (7), p. 18—30. (In Russian). DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-18-30

17. Dorofeev A. N., Savelyeva E. A., Utkin S. S., Ponzov A. V., Sharafutdinov R. B., Kudryavtsev E. G., Pron I. A., Konovalov V. Yu. Evolyuciya obosnovaniya dolgovremennoj bezopasnosti PGZ ZHRO [Evolution of the long-term safety case for LRW disposal

- facility]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2017, no. 1, p. 55–64. (In Russian).
18. Abramov A. A., Dorofeev A. N., Deryabin S. A. Razvitie EGS RAO v ramkah rabot o Federal'noj celevoj programme obespecheniya yadernoj i radiacionnoj bezopasnosti [USS RW development under the Fedral Targeted Program Nuclear and Radiation Safety]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2019, no. 1 (6), p. 8–24. (In Russian).
19. Pron I. A., Konovalov V. Yu. Opyt ekspluatatsii pripoverhnostnogo punkta zahoroneniya radioaktivnyh othodov 3 i 4 klassov [Near-surface disposal facility for radioactive waste class 3 and 4: operational experience]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2018, no. 4 (5), p. 8–14. (In Russian).
20. Radchenko M. V., Kormilitsyna L. A., Matyunin Yu. I., Mogulyan V. G. Mnogocelvye upakovki dlya radioaktivnyh othodov [Multipurpose packages for radioactive waste]. *Radioaktivnye othody — Radioactive Waste*, 2017, no.1, p. 74–84. (In Russian).
21. Blokhin P. A., Vaneev Y. E., Panchenko S. V. Ocenka vozmozhnosti povtornogo ispol'zovaniya metallicheskih radioaktivnyh othodov v atomnoj promyshlennosti [Evaluation of the Possibility of Recycling Metal Radwastes in the Nuclear Industry]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2014, no.117 (2), pp. 100–105. (In Russian).
22. Ponomarev L. I., Belonogov M. N. Bystryj zhidkosolevoj reaktor na osnove evtektiki LiF-NaF-KF kak szhigatel Np, Am, Cm [Fast molten salt reactor based on LiF-NaF-KF eutectic considered as Np, Am, Cm incinerator] *Atomnaya energiya — Atomic Energy*, 2019, vol. 126, no. 3, p. 123–135. (In Russian).
23. The Future of the Nuclear Fuel Cycle. An Interdisciplinary MIT Study. — Massachusetts Institute of Technology, 2011. — 237 p.
24. Blue Ribbon Commission on America's Nuclear Future. *Report to the Secretary of Energy*. January 2012. — 158 p.

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 Nuclear Safety Institute of RAS (52, Bolshaya Tulkaya St., Moscow, 115191), e-mail: bolshov@ibrae.ac.ru.

Linge Igor Innokentevich, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director, Nuclear Safety Institute of RAS (52, Bolshaya Tulkaya St., Moscow, 115191), e-mail: linge@ibrae.ac.ru.

Bibliographic description

Bolshov L. A., Linge I. I. Building Consistency between Development Stages of Nuclear Power Complex and RW Management System. *Radioactive Waste*, 2019, no. 3 (8), pp. 14–27. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-3-14-27. (In Russian).