DOI: 10.25283/2587-9707-2026-1-6-15 УДК 574.2:539.6

АВАРИЯ НА ЧАЭС И ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Л. А. Большов, М. В. Ведерникова, И. И. Линге, С. В. Панченко, С. С. Уткин

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва

Статья поступила в редакцию 19 января 2026 г.

Рассматриваются вопросы обращения с чернобыльскими радиоактивными отходами (РАО), в том числе от дезактивации населенных пунктов на территории России на фоне создания и развития Единой государственной системы по обращению с радиоактивными отходами — ЕГС РАО). Показана роль ИБРАЭ РАН в анализе и смягчении последствий чернобыльской аварии, в развитии научных основ захоронения РАО, а также разработке расчетных кодов для комплексного моделирования миграции радионуклидов в различных средах и оценке их воздействия на человека и объекты живой природы.

Ключевые слова: *Чернобыльская АЭС, ликвидация последствий аварии, радиоактивные отходы, радиационная безопасность, пункт глубинного захоронения РАО, пункт размещения радиоактивных отходов, пункт захоронения отходов дезактивации, программные комплексы, Государственная система по обращению с РАО.*

В канун сорокалетия аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) представляется необходимым дать краткий обзор инициированных ею процессов, главным образом в контексте развития системы обращения с РАО и работ ИБРАЭ РАН, сыгравших в этом важную роль. Рассмотрение данных вопросов более продуктивно при учете всего комплекса мер, реализованных в первые [1] и последующие годы после аварии, в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, которые достаточно детально описаны в разделах Российских национальных докладов — «Уроки для атомной отрасли» [2], [3]. В рамках данной статьи ограничимся анализом: особенностей первого послеаварийного этапа; становления периода развития атомной энергетики; первоочередных мер по созданию ЕГС РАО и краткого описания чернобыльских отходов в России; развития научных основ их захоронения.

Создание ИБРАЭ РАН в условиях необходимости решения неотложных задач обеспечения ядерной и радиационной безопасности

Выполнение комплекса срочных мер, связанных с ликвидацией последствий аварии на ЧАЭС и ревизией состояния безопасности ядерных установок СССР, не помешало принятию Правительством СССР решений по созданию новых научных центров, призванных предотвратить повторение подобных катастроф. В 1988 году были учреждены Научно-технический центр по безопасности в атомной энергетике при Госатомэнергонадзоре СССР (сегодня — ФБУ «НТЦ ЯРБ» Ростехнадзора), который был призван осуществлять научно-техническую поддержку органа регулирования безопасности, и Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН).

Это отражало потребность страны в независимом от атомной отрасли научном центре, способном осуществлять фундаментальные исследования в сфере безопасности объектов атомной энергетики.

Ядро коллектива ИБРАЭ составили две группы специалистов: первая — сотрудники филиала Курчатовского института, принимавшие участие в работах в Чернобыле летом 1986 года, среди основных задач которых была информационная и научно-техническая поддержка Правительственной комиссии, главным образом по мероприятиям, реализовывавшимся на энергоблоке № 4, и группа специалистов Института биофизики МЗ СССР, активно участвовавших в работах по тематике радиационной защиты населения. Масштабность и новизна научно-технических и социально-экономических вопросов, требовавших решения при ликвидации последствий аварии, предопределили длительную историю деятельности ИБРАЭ по чернобыльской тематике. Она включала такие крупные направления, как: проблема изоляции топливных материалов (практическое участие — 1986—1988 годы); разработка расчетных программ для анализа ядерной и радиационной безопасности (1986— н. в.); детализированные экспедиционные обследования загрязненных районов (1990—2001 гг.); информационно-аналитическая поддержка подготовки и реализации государственных программ преодоления последствий (1990—2015 гг.); организация и проведение специальных учений и деловых игр, создание информационных систем и кризисных центров для содействия принятию решений по радиационной защите населения (1991—н. в.); информационная и научно-техническая поддержка работ по ликвидации проблем ядерного наследия, при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии, повышении безопасности объектов размещения и хранения РАО (2001 — н. в.).

Одним из последствий аварии было образование колоссального количества РАО и загрязненных материалов, которые могли бы стать в перспективе радиоактивными. При этом тематика создания системы обращения с таким видом отходов в СССР после произошедшей катастрофы не стала занимать какую-либо решающую роль в стратегии преодоления ее последствий, поскольку все мероприятия, в том числе по аварийному энергоблоку, не предполагали окончательного решения и обеспечения долгосрочной безопасности, а ориентировались на краткосрочные цели и сжатые сроки их достижения.

Так, стратегия в отношении разрушенного энергоблока, значимая часть которого могла быть определена как ядерные отходы, имела следующую череду целей: прекращение горения графита (май 1986 г.); предотвращение поступления топливных масс в подреакторное пространство и снижение его последствий (май — июнь 1986 года); конструкционное ограждение аварийного энергоблока для создания эффекта надежной изоляции (июль — ноябрь 1986 г.). Объект «Укрытие», сооруженный к осени 1986 года, не только не являлся герметичным, но и не изолировал топливные массы от поступления воды. Созданный над ним в 2007—2019 годах новый «безопасный контайнмент» также ориентирован на выполнение функций в относительно непродолжительные сроки (70—100 лет). Основное назначение нового сооружения: дополнительная защита окружающей среды от сосредоточенной в объекте радиоактивности; изоляция объекта «Укрытие» от поступления дождевых и талых вод и, в отличие от него, возможность проведения частичного демонтажа аварийных и ненадежных конструкций данного объекта и АЭС. Задача удаления РАО и их последующего захоронения, равно как и полной реабилитации площадки под энергоблоком, до настоящего времени не рассматривалась как реализуемая.

На территории АЭС и 30-километровой зоны в качестве доминирующей технической концепции в первые годы также преобладала идея изоляции РАО (радиоактивности) в месте нахождения. Она легла, в частности, в основу многочисленных водоохранных мероприятий, реализованных на этом участке. Кратко напомним их: стена в грунте в непосредственной близости от энергоблока, система фильтрующих дамб на притоках р. Припяти, донные ловушки на ней и др. К сожалению, положительный эффект от их реализации был очень ограниченным, а общие издержки от этого, в том числе в форме негативных экологических последствий, были многократно большими. Одни из первых системных оценок эффективности этих мероприятий были представлены в работах [4], [5]. Необходимо отметить, что значимость процессов смыва активности на загрязненных территориях и её выноса в р. Днепр, несмотря на мнения части специалистов, была сильно переоценена в первые годы после аварии, когда превалировали крайне консервативные предположения. В этом же ряду стоит и проблема загрязнения подземных вод.

Выбор технических решений по предотвращению поступления расплава топлива, с которым пришлось столкнуться специалистам ИБРАЭ, прибывшим на ЧАЭС в конце мая — начале июля 1986 года, осуществлялся в специфических условиях: очень общая и лаконичная постановка

задачи и практически полное отсутствие данных по состоянию подреакторного пространства. В проведении расчетов решающую роль сыграли Р. В. Арутюнян, В. Ф. Стрижов, В. П. Киселев, С. Ю. Чернов под общим руководством Л. А. Большова. С учетом ограниченности данных и расчетного инструментария проблему можно считать успешно решенной. Благодаря комплексу обоснованных мер, масштабного поступления расплава топлива удалось избежать. Позднее данная тема неоднократно становилась предметом исследований, в том числе международных (проект RASPLAV), при совершенствовании зарубежных расчетных кодов, создании первого отечественного кода для анализа тяжелых аварий и их развития, углубленном изучении состояния объекта «Укрытие» и анализе последствий аварии на АЭС Фукусима, а также при создании кодов нового поколения [6]—[9].

В силу обстоятельств участие специалистов, составивших впоследствии основу коллектива ИБРАЭ, в работах непосредственно на АЭС и в 30-километровой зоне было кратковременным, но очень насыщенным. Ценно, что оно включало активное взаимодействие с Правительственной комиссией и позволило уяснить основные механизмы взаимодействий на таком уровне, очертить круг вопросов, которые было необходимо принимать во внимание, и получить еще более ценный опыт учета реальных обстоятельств при принятии решений. В эти же годы ряд специалистов Института биофизики, впоследствии перешедших в ИБРАЭ, занимались задачами обеспечения безопасности затронутого аварией населения, сталкиваясь с во многом схожими проблемами, среди которых главными представлялись: трудности межведомственного обмена данными, заинтересованность учреждений, регионов и отдельных организаций в получении ресурсов любой ценой, в том числе с применением самых пессимистических доводов. Благодаря этому разностороннему опыту, институт стал готов к активному участию в формировании первой союзно-республиканской программы, которая была утверждена и начала реализовываться в 1991 году. Все остальные российские программы преодоления последствий аварии разрабатывались уже с решающим участием ИБРАЭ РАН и во многом были ориентированы на смягчение тяжелых социально-экономических последствий принятых законодательных решений.

Вплоть до конца века значимая часть деятельности ИБРАЭ была связана с чернобыльской тематикой и ее развитием в форме информационных систем для тренинга и учений по радиационным авариям, в том числе для зарубежных заказчиков. Второй составляющей были работы по тяжелоаварийным кодам по договорам с NRC (США), CEA (Франция). В 1998 году начались работы ИБРАЭ РАН по заказам Минатома России и Росэнергоатома по созданию современных систем аварийного реагирования. Вплоть до 2001 года тематика РАО была не востребована российскими ведомствами, в том числе Минатомом России, хотя ситуация со многими объектами их хранения развивалась по негативному сценарию.

Ориентир на развитие атомной энергетики

Предпринятые на рубеже веков попытки поиска средств на развитие атомной отрасли и решения накопленных проблем в форме инициативы по ввозу отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) на хранение и переработку закончились внесением изменений в законодательство, за которыми, однако, не последовало какой-либо масштабной деятельности. Все более очевидной становилась перспектива стагнации отрасли, с учетом сроков эксплуатации объектов атомной генерации, и сворачивания деятельности по всем направлениям.

В этих условиях государством были сформированы важные решения, среди которых: принятие «Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2010 года и дальнейшую перспективу», планы по развитию атомного энергопромышленного комплекса и ратификация Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами[1] (подписана Российской Федерацией еще в 1999 г.). Ратификация состоялась в ноябре 2005 года, что означало ее вступление в силу в апреле 2006 года, то есть до очередного совещания стран — участниц конвенции. Это обстоятельство потребовало представления национального доклада Российской Федерации. К этому времени ИБРАЭ РАН уже были выполнены сложные работы по разработке Комплексного плана решения экологических проблем ФГУП «ПО «Маяк» [10] и Стратегического мастер-плана комплексной утилизации АПЛ на северо-западе России [11], что позволило претендовать на роль ведущего научного центра по тематике атомного наследия, радиоэкологии и аварийного реагирования. По этой причине

[1] Принята 5 сентября 1997 года в Вене (Австрия). Вступила в силу 18 июня 2001 года.

естественным было обращение Госкорпорации «Росатом» в ИБРАЭ с просьбой об участии в подготовке первого национального доклада по Объединенной конвенции. Эти доклады традиционно готовятся органами регулирования безопасности и государственного управления использованием атомной энергии, с участием компаний, эксплуатирующих ядерные объекты. Так, в 2006 году сложилась четырехсторонняя кооперация (Госкорпорация «Росатом», ИБРАЭ РАН, Ростехнадзор, НТЦ ЯРБ), в рамках которой до настоящего времени было подготовлено семь национальных докладов Российской Федерации [12]. Для ИБРАЭ РАН это послужило причиной детального изучения нормативной базы, принятой на международном уровне. Одновременно в институте шла работа по подготовке проекта Федеральной целевой программы обеспечения ядерной и радиационной безопасности (ФЦП ЯРБ), в процессе которой был оценен масштаб накопленных объемов РАО и ограниченный набор практик обращения с ними, уяснен характер требований основных ведомств, дающих возможность выделения средств федерального бюджета, и установлено главное из них: создание механизмов, предотвращающих накопление новых проблем в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Это требование было учтено при подготовке концепции ФЦП ЯРБ [13], в которой указывалось, что «принципиальным выводом, который можно сделать на основе мирового опыта, является необходимость определяющей роли государства в решении проблем, возникших в результате гонки вооружений, а также активного участия бизнеса в создании эффективной системы по обращению с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами».

Важно, что вне зависимости от участия ИБРАЭ, к концу 2007 года были созданы и иные предпосылки, которые делали возможной разработку законодательных основ системы обращения с РАО. Это, во-первых, устранение монопольной собственности государства на ядерные установки и иные объекты использования атомной энергии и акционирование предприятий атомной отрасли. Они сформировали заинтересованность эксплуатирующих организаций в определении стоимости владения активами и отложенных обязательств, связанных с выводом из эксплуатации и обращением с РАО. Во-вторых, это небольшой, но практический опыт накопления и расходования консолидированных резервов и потенциала организаций, созданных в рамках реализации требований Федерального закона от 21.11.1995 № 170-ФЗ «Об использовании атомной энергии» (далее — № 170-ФЗ). В-третьих, это экспортная ориентация развития атомной энергетики, которая требовала учитывать запросы заказчиков, в том числе по образованию РАО. Эти новые обстоятельства вместе с основными, связанными с получением тяжелого практического опыта накопления больших и сверхбольших объемов ОЯТ и РАО, а также быстрым ростом рисков аварий на объектах их хранения в целом и определенное разочарование в использовании приповерхностных промышленных водоемов для хранения РАО, определили тот фон, на котором создание новой системы обращения с ними и, в особенности, взимание платы за их захоронение стали возможны.

В начале 2008 года разработанный в ИБРАЭ РАН проект федерального закона об обращении с РАО был одобрен руководством Госкорпорации «Росатом» и разослан в организации отрасли для изучения. В 2008—2009 годах он согласовывался с заинтересованными ведомствами, а в 2010—2011 годах обсуждался в Федеральном Собрании.

С момента вступления в силу Федерального закона от 11.07.2011 № 190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (далее — № 190-ФЗ) прошло 15 лет, и почти все организационно-финансовые механизмы его реализации опробованы. Что касается системы пунктов приповерхностного захоронения РАО (ППЗРО), то она начала работать в отношении отходов классов 3 и 4, продолжила функционировать в отношении закачки жидких РАО (ЖРО, класс 5), но пока, как и во всех других странах, не приступила к функционированию в части РАО 1 и 2 классов. При этом основным сдерживающим фактором является не отсутствие программы исследований, а ее медленная реализация, в том числе в части создания горных выработок и экспериментальных установок подземной исследовательской лаборатории, создаваемой для обоснования безопасности пункта глубинного захоронения РАО (ПГЗРО), в том числе долговременной.

Важную роль в создании ЕГС РАО сыграла первичная регистрация отходов и условий их размещения, проведенная в 2013—2014 годах. Ее основной задачей являлось составление максимально полного перечня объектов их нахождения и определения категории — удаляемые или особые, то есть отходы, которые могут быть захоронены (изолированы) на длительные сроки на месте их размещения [14].

В этом контексте интересна история нескольких групп чернобыльских РАО, оказавшихся на территории Российской Федерации. Сразу отметим, что их объем составлял очень малую долю от находящихся на территории 30-километровой зоны, а все чернобыльские — небольшую часть от накопленных в России.

Первая группа — это РАО от различного рода санпропускников, созданных в апреле — мае 1986 года, главным образом в Москве, в том числе при клинике Института биофизики. Отходы этой группы штатным образом вывозились на спецкомбинат «Радон» (ныне — ФГУП «РАДОН») и включались в традиционный поток РАО от научных и медицинских организаций.

Вторая группа — это отходы от дезактивации населенных пунктов юго-западных районов Брянской области, проводившейся вплоть до 1988 года. Они размещались в грунтовых могильниках в этой же местности. Уровни загрязнения территории были достаточно высокими (более 15 Ки/км^2), поэтому можно было ожидать, что активность данных РАО может составлять десятки и сотни ГБк ^{137}Cs, локализованных в оврагах или специально вырытых траншеях, не имеющих серьезных барьеров безопасности. В 1998 году стартовали проекты Франко-Германской инициативы по Чернобылю, в рамках одного из которых была предпринята попытка прояснения состояния этих отходов. Обследовано 19 мест их изоляции в Брянской области. Наибольшие абсолютные запасы радионуклидов были сосредоточены в захоронении овражного типа в районе населенного пункта Святск, ныне не существующего, — более 100 ГБк ^{137}Cs (около 3 Кюри). Еще в нескольких местах было сосредоточено около 1 Ки ^{137}Cs. В 9 могильниках его содержание оказалось заметно меньше. Общее количество захоронений ^{137}Cs оценивается величиной 0,2 ТБк (с неопределенностью от 0,1 до 0,3 ТБк) [15]. Их суммарный объем составил примерно 50 тыс. м^3, при этом самое значительное захоронение (для отходов дезактивации) было под Святском — около 10 тыс. м^3. Наибольшая объемная активность ^{137}Cs в них — около 1 кБк/дм^3, а средняя была вдвое меньше. Следует отметить, что в первые годы этот показатель в поверхностном 10-сантиметровом слое почвы в районах расположения захоронений составлял около 10 кБк/дм^3. Это обстоятельство важно для понимания эффективности масштабных дезактивационных работ в ранние сроки после аварии и выработки стратегии дальнейшего обращения с образовавшимися отходами.

Третья группа представляет собой автомобильную и инженерную технику, использовавшуюся в зоне ЧАЭС. Помимо военной техники Министерства Обороны СССР был задействован транспорт не только из близлежащих областей и районов, но и практически со всего бывшего СССР. Его общее количество оценить невозможно, поскольку на начальном этапе учета не велось. После завершения работ техника, при условии превышения норматива радиационного загрязнения на выезд из 30-километровой зоны — 0,1 мР/ч, передавалась предприятиям, входящим в этот периметр, — Чернобыльской АЭС, ПО «Комбинат», УС-605 и др. (обычно это был достаточно новый или специализированный транспорт) или, если уровень загрязнения был высок и/или в нем не было особой необходимости, отправлялась в отстойники Буряковка и Россоха.

Техника Сибирского химического комбината (ныне — АО «СХК»), как предприятия Минсредмаша СССР, также применялась в работах по ликвидации последствий аварии, и по их окончании более 100 единиц были возвращены на комбинат. При этом возник ряд серьезных проблем по ее использованию. Допустимая для выезда из 30-километровой зоны ЧАЭС мощность дозы над поверхностью — 0,1 мР/ч, что для среднего нуклидного состава чернобыльского загрязнения соответствовала примерно 1 000 бета-част/см^{2}мин, превышала установленные на то время нормативы загрязнения техники. Отметим, что дезактивация техники была бы очень затратной и не имела смысла, учитывая ее эксплуатационные характеристики после месяцев круглосуточной работы в зоне аварии. Решение было отложено.

В 2019 году специалистами ИБРАЭ РАН совместно с ИФХЭ РАН по заказу АО «ТВЭЛ» выполнен анализ состояния этой техники и была рекомендована ее утилизация в закрываемых объектах СХК — ПХ-1 и ПХ-2, что, с одной стороны, позволило сэкономить до 600 млн рублей (в ценах 2019 г.), а с другой, как было показано выполненными расчетами, не повлияло на радиационную безопасность будущих пунктов захоронения РАО [16].

Завершая тему чернобыльских РАО в России, отметим следующее:

- авария, приведшая к образованию огромных количеств загрязненных материалов и отходов, не инициировала постановки задач по созданию системы обращения с РАО ни в СССР, ни позднее в России;
- чернобыльские отходы в России представляют собой достаточно компактную группу РАО и материалов, в отношении которых можно утверждать, что они не потребовали специальных мер и решений.

Научные основы захоронения РАО

ИБРАЭ РАН, изначально ориентированный на системное осмысление проблематики захоронения РАО, которая, безусловно, относится к фундаментальным вопросам безопасности атомной энергетики, начиная с середины 90-х годов прошлого века стал уделять этим вопросам все большее внимание. В частности, это осуществлялось в рамках фундаментальных исследований, проводимых при сотрудничестве академий наук России и США, а также по заказам Министерства энергетики США [17]—[19]. Этот период ознаменовался крупными проектами отечественных специалистов по тематике геологического захоронения РАО, среди которых фундаментальные работы академика Н. П. Лаверова и специалистов Радиевого института. Однако общее состояние работ по геологическому захоронению позволяло предположить в близком будущем определенные проблемы кадрового и методического характера при одновременном росте их актуальности. В этот период специалистами ИБРАЭ РАН предложено свое видение системы обращения с РАО, основанное на положениях нового закона (№ 170-ФЗ) и предложениях по созданию системы их захоронения. В 2009 году институтом было принято решение об ускорении развития работ по научным основам захоронения РАО. В качестве первой цели была определена разработка современных средств для оценок радиационного воздействия на длительный период. Подчеркнем, что тема расчетного инструментария и комплексного моделирования распространения радиоактивных веществ во всех средах (геологическая среда, подземные и поверхностные воды, атмосфера, сельскохозяйственные и лесные угодья, городская среда) была в общем виде закреплена в решении о создании института. Опыт разработки таких программных средств формировался на оценке долговременных последствий чернобыльской аварии. Их развитие получило новый толчок в связи с проблемой обеспечения долговременной безопасности захоронения РАО. Сегодня результаты этой работы закреплены созданными в ИБРАЭ аттестованными расчетными программами (их более 15), важными для тематики обращения с РАО и их изоляции.

Период 2013—2016 гг. ознаменовал существенное усиление роли экспертного научного сообщества в области геологического захоронения РАО, деятельность которого на этапе старта разработки обосновывающих документов для получения лицензии на размещение пункта ПГЗРО была сосредоточена главным образом в проектных институтах и, в силу специфики расположения площадки, велась в режиме ограниченного доступа к материалам обоснования безопасности. К 2018 году был выполнен комплекс работ, показавший, что проектная концепция пунктов глубинного захоронения РАО не в полной мере отвечает требованиям безопасности. Все направления работ, необходимые для обоснования долговременной безопасности ПГЗРО, соответствующие требованиям российских регуляторов (в первую очередь это Ростехнадзор и Роснедра), а также рекомендациям авторитетных международных организаций (МАГАТЭ и АЯЭ/ОЭСР), легли в конечном итоге в основу «Комплексной программы исследований», которая была утверждена в 2019 г. и имеет первый горизонт планирования порядка 10 лет. Вслед за этим в 2020 г. ИБРАЭ РАН был определен научным руководителем проекта создания ПГЗРО, а в 2024 г. — и ППЗРО.

Заключение

Авария на ЧАЭС привела к тяжелым социально-экономическим последствиям во многих сферах, в том числе потере значимых для страны мощностей атомной энергетики, ущербу здоровью привлеченных контингентов участников ликвидации ее последствий и населения, эвакуации и переселению жителей загрязненных районов, отчуждению или ограничениям деятельности на больших территориях. Для минимизации ее негативного влияния и предотвращения подобных аварий в будущем Правительствами СССР и Российской Федерации были предприняты меры, которые, в частности, включали создание нового научного центра для фундаментального анализа вопросов безопасности атомной энергетики. Им стал ИБРАЭ РАН.

За прошедшие годы в институте выполнен обширный комплекс работ по повышению безопасности на предприятиях атомной энергетики и промышленности, значительная часть которых посвящена тематике вывода из эксплуатации и обращения с РАО. Наиболее значимыми среди них являются: учения по ликвидации аварий и поддержка Кризисных центров АО «Концерна «Росэнергоатом» и Госкорпорации «Росатом»; научно-техническая поддержка всех чернобыльских программ; создание стратегических мастер-планов по утилизации атомных подводных лодок (2003 г.); исследования по Теченскому каскаду водоемов (2015 г.); реализация и сопровождение федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности»; разработка № 190-ФЗ (2011 г.);

подготовка программных комплексов для обоснования безопасности объектов завершающих стадий ядерного топливного цикла.

Помимо сооружения и эксплуатации подземной исследовательской лаборатории как первого этапа создания объекта для глубинного захоронения высокоактивных отходов, основные вызовы ближайших лет связаны с обращением с особыми РАО (обоснование перевода в пункты консервации или переоценка решений в части их извлечения) и поддержанием баланса планирования образования и регулирования данного процесса в условиях объективной подвижности системы бэкенда, связанной с развитием реакторных и радиохимических технологий.

В результате усилий Госкорпорации «Росатом» и ИБРАЭ РАН сформирована система управления работами по обращению с РАО, которая включает орган государственного управления и ответственные организации, в том числе ФГУП «Национальный оператор по обращению с РАО», организацию, осуществляющую научное руководство созданием пунктов захоронения РАО (ИБРАЭ РАН), и ФГУП «РАДОН» — оператора по ядерному наследию. Деятельность организаций и предприятий, в результате функционирования которых образуются радиоактивные отходы, регламентирована системой современных требований, задаваемых федеральными нормами и правилами и руководствами по безопасности в области использования атомной энергии.

Таким образом, можно констатировать, что авария на ЧАЭС, не оставив сколь-либо серьезных проблем в виде фактических РАО на территории Российской Федерации, в значительной мере инициировала процессы создания современной системы обращения с ними.

Литература

1. Чернобыль. Пять трудных лет. Сборник материалов под ред. Ю. В. Сивинцева, В. А. Качалова. — М. : Издат, 1992.
2. Российский национальный доклад: 35 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986—2021. Под общей редакцией Л. А. Большова. — М. : Академ-Принт, 2021.
3. Российский национальный доклад: 40 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986—2026. Под общей редакцией Л. А. Большова. — М. : Академ-Принт, 2026.
4. *Алексахин Р. М., Булдаков Л. А., Губанов В. А. и др.* Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры. Под ред. Л. А. Ильина и В. А. Губанова. — М. : ИздАТ, 2001. 752 с.
5. *Войцехович О. В.* Управление качеством поверхностных вод в зоне влияния аварии на Чернобыльской АЭС. — Киев, 2001. 136 с.
6. Numeric models for RASPLAV project : Отчет о НИР / Aksenova A. E., Chudanov V. V., Kondratenko P. S., Pervichko V. A., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N. — OECD, 1998.
7. *Bolshov L., Strizhov V., Kisselev A.* Severe accident codes status and future development // Nuclear Engineering and Design. 1997. Vol. 173. No. 1—3. Pp. 247—256. DOI: 10.1016/s0029-5493(97)00114-3.
8. *Арутюнян Р. В., Большов Л. А., Боровой А. А., Велихов Е. П.* Системный анализ причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима-1». — М. : Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2018. 408 с.
9. *Bolshov L. A., Strizhov V. F., Mosunova N. A., Pribaturin N. A.* Codes of new generation — the industry platform for the safety assessment in the Proryv project // Nuclear Engineering and Design. 2022. Vol. 390. P. 111688. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2022.111688.
10. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. — Под общ. ред. Е. В. Евстратова, А. М. Агапова, Н. П. Лаверова, Л. А. Большова, И. И. Линге. Т. 1. — М. : Энергопроманалитика, 2012. 356 с.
11. *Антипов С. В., Ахунов В. Д., Большов Л. А., Саркисов А. А., Кухаркин Н. Е., Шишкин В. А.* Комплексная утилизация выведенных из эксплуатации объектов атомного флота в Северо-Западном регионе и методологические подходы // Атомная энергия. 2006. Т. 101. № 1. С. 4—11.
12. *Дорофеев А. Н., Уткин С. С., Мамчиц Е. Г., Дорогов В. И., Самойлов А. А., Понизов А. В., Василишин А. Л.* К 20-летию действия Объединенной конвенции о безопасности обращения с ОЯТ и о безопасности обращения с РАО // Радиоактивные отходы. 2023. № 1 (22). С. 6—16. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-1-6-16.
13. Об утверждении Концепции федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19 апреля 2007 г. № 484-р.
14. Особые радиоактивные отходы / Под общ. ред. И. И. Линге. — М. : Сам Полиграфист, 2015. 240 с.
15. Исследование мест захоронения отходов дезактивации на территории Брянской области в связи с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС : Отчет ИБРАЭ РАН / Линге И. И., Панченко С. В. и др. — М. : ИБРАЭ РАН, 2003. 66 с.
16. *Котов С. А., Тинин В. В.* Развитие работ по обращению с РАО на АО «СХК» //

Радиоактивные отходы. 2024. № 2 (27). С. 9—17. DOI: 10.25283/2587-9707-2024-2-9-17.
17. *Большов Л. А., Головизнин В. М., Дыхне А. М., Киселев В. П., Кондратенко П. С., Семенов В. Н.* Новые подходы к оценке безопасности захоронений радиоактивных отходов // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2004. № 4. С. 99.
18. *Bolshov L., Kondratenko P., Semenov V., Pruess K.* Nonclassical transport processes in geologic media: Review of field and laboratory observations and basic physical concepts // Vadose Zone Journal. 2008. Vol. 7. No. 4. Pp. 1135—1144. DOI: 10.2136/vzj2007.0153.
19. *Большов Л. А., Линге И. И., Ковальчук В. Д., Уткин С. С., Ельфимова Т. Л., Поляков Ю. Д.* Становление национальной системы обращения с радиоактивными отходами: уроки, успехи, ожидания // Атомная энергия. 2011. Т. 111. № 3. С. 126—131.

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.ru.

Ведерникова Марина Владимировна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: vmv@ibrae.ac.ru.

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

Панченко Сергей Владимирович, старший научный сотрудник лаборатории радиоэкологии, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: panch@ibrae.ac.ru.

Уткин Сергей Сергеевич, доктор технических наук, заместитель директора, Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (115191, Москва, Большая Тульская ул., д. 52), e-mail: uss@ibrae.ac.ru.

Библиографическое описание статьи

Большов Л. А., Ведерникова М. В., Линге И. И., Панченко С. В., Уткин С. С. Авария на ЧАЭС и обращение с радиоактивными отходами // Радиоактивные отходы. 2026. № 1 (34). С. 6—15. DOI: 10.25283/2587-9707-2026-1-6-15.

THE CHERNOBYL ACCIDENT AND THE RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT

Bolshov L. A., Vedernikova M. V., Linge I. I., Panchenko S. V., Utkin S. S.

Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Article received on January 19, 2026

This article examines the management of radioactive waste from the Chernobyl accident (including the waste from the decontamination of settlements) in Russia against the backdrop of progress in the establishment and development of the Unified State System for Radioactive Waste Management. It also examines the role of the Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (IBRAE RAS) in analyzing and mitigating the consequences of the

Chernobyl accident, as well as in the development of a scientific basis for RW disposal and computational codes designed to build comprehensive models of radionuclide transport in various environments and to assess their impact on human and wildlife.

Keywords: *Chernobyl Nuclear Power Plant, post-accident clean-up, radioactive waste, radiation safety, deep disposal facility for radioactive waste, facility holding radioactive waste, disposal facility for decontamination waste, software systems, State System for Radioactive Waste Management.*

References

1. *Chernobyl'. Pyat' trudnykh let* [Chernobyl. Five Difficult Years]. Collection of materials edited by Yu. V. Sivintsev, V. A. Kachalov. Moscow, 1992.
2. *Rossiyskiy natsional'nyy doklad: 35 let Chernobyl'skoy avarii. Itogi i perspektivy preodoleniya yeye posledstviy v Rossii* [Russian National Report: 35 Years since the Chernobyl Accident. Results and Prospects for Overcoming its Consequences in Russia]. 1986—2021. Under the general editorship of L. A. Bolshov. Moscow, Akadem-Print Publ., 2021.
3. *Rossiyskiy natsional'nyy doklad: 40 let Chernobyl'skoy avarii. Itogi i perspektivy preodoleniya yeye posledstviy v Rossii* [Russian National Report: 40 Years since the Chernobyl Accident. Results and Prospects for Overcoming its Consequences in Russia]. 1986—2026. Under the general editorship of L. A. Bolshov. Moscow, Akadem-Print Publ., 2026.
4. Aleksakhin R. M., Buldakov L. A., Gubanov V. A. et al. *Krupnyye radiatsionnyye avarii: posledstviya i zashchitnyye mery* [Large radiation accidents: consequences and protective measures]. Ed. by L. A. Ilyin and V. A. Gubanov. Moscow, IzdAT Publ., 2001. 752 p.
5. Voitsekovich O. V. *Upravleniye kachestvom poverkhnostnykh vod v zone vliyaniya avarii na Chernobyl'skoy AES* [Surface water quality management in the area affected by the Chernobyl accident]. Kyiv, 2001. 136 p.
6. Aksenova A. E., Chudanov V. V., Kondratenko P. S., Pervichko V. A., Strizhov V. F., Vabishchevich P. N. Numeric models for RASPLAV project. Research Report. OECD. 1998.
7. Bolshov L., Strizhov V., Kisselev A. Severe accident codes status and future development. *Nuclear Engineering and Design,* 1997, vol. 173, no. 1—3, pp. 247—256. DOI: 10.1016/s0029-5493(97)00114-3.
8. Arutyunyan R. V., Bolshov L. A., Borovoi A. A., Velikhov E. P. *Sistemnyy analiz prichin i posledstviy avarii na AES "Fukusima-1"* [System analysis of causes and consequences of the Fukushima-1 NPP accident]. Moscow, Nuclear Safety Institute of RAS Publ., 2018. 408 p.
9. Bolshov L. A., Strizhov V. F., Mosunova N. A., Pribaturin N. A. Codes of new generation — the industry platform for the safety assessment in the Proryv project. *Nuclear Engineering and Design,* 2022, vol. 390, p. 111688. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2022.111688.
10. *Problemy yadernogo naslediya i puti ikh resheniya* [Nuclear Legacy Challenges and Ways to Adress Them]. Edited by E. V. Evstratov, A. M. Agapov, N. P. Laverov, L. A. Bolshov, I. I. Linge. Vol. 1. Moscow, Ehnergopromanalitika Publ., 2012. 356 p.
11. Antipov S. V., Akhunov V. D., Bolshov L. A., Sarkisov A. A., Kukharkin N. E., Shishkin V. A. Kompleksnaya utilizatsiya vyvedennykh iz ekspluatatsii ob"yektov atomnogo flota v Severo-Zapadnom regione i metodologicheskiye podkhody [Complex Decommission of Takenout-Of-Service Vessels in The Northwest Russia and Methodic Approaches to Their Efficient Solution]. *Atomnaya energiya — Atomic Energy,* 2006, vol. 101, no. 1, pp. 4—11.
12. Dorofeev A. N., Utkin S. S., Mamchits E. G., Dorogov V. I., Samoilov A. A., Ponizov A. V., Vasilishin A. L. K 20-letiyu deystviya Ob"yedinennoy konventsii o bezopasnosti obrashcheniya s OYAT i o bezopasnosti obrashcheniya s RAO [On the 20th Anniversary of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management]. *Radioaktivnyye otkhody — Radioactive Waste,* 2023, no. 1 (22), pp. 6—16. DOI: 10.25283/2587-9707-2023-1-6-16.
13. *Obespecheniye yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti na 2008 god i na period do 2015 goda* [On the Approved Concept for the Federal Target Program Nuclear and Radiation Safety in 2008—2015]. Order of the Government of the Russian Federation of April 19, 2007, no. 484-r.
14. *Osobyye radioaktivnyye otkhody* [Special Radioactive Waste]. General editorship of I. I. Linge. Moscow, SAM Polygraphist Publ., 2015. 240 p.
15. Linge I. I., Panchenko S. V. et al. *Issledovaniye mest zakhoroneniya otkhodov dezaktivatsii na territorii Bryanskoy oblasti v svyazi s likvidatsiyey posledstviy avarii na Chernobyl'skoy AES* [Study of Disposal Sites for Decontamination Waste in the Bryansk Region in the View of Cleanup Efforts Implemented in the Aftermath of the Chernobyl Accident]. Report of the Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences. Moscow, NSI RAS Publ., 2003. 66 p.
16. 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: 10.25283/2587-9707-2024-2-9-17.
17. Bolshov L. A., Goloviznin V. M., Dykhne A. M., Kiselev V. P., Kondratenko P. S., Semenov V. N. Novyye podkhody k otsenke bezopasnosti zakhoroneniy radioaktivnykh otkhodov [New approaches to safety

assessment of radioactive waste disposal]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika — Thermal Engineering,* 2004, no. 4, p. 99.
18. Bolshov L., Kondratenko P., Semenov V., Pruess K. Nonclassical transport processes in geologic media: Review of field and laboratory observations and basic physical concepts. *Vadose Zone Journal,* 2008, vol. 7, no. 4, pp. 1135—1144. DOI: 10.2136/vzj2007.0153.
19. Bolshov L. A., Linge I. I., Kovalchuk V. D., Utkin S. S., Elfimova T. L., Polyakov Yu. D. Stanovleniye natsional'noy sistemy obrashcheniya s radioaktivnymi otkhodami: uroki, uspekhi, ozhidaniya [Establishment of a national radioactive waste management system: lessons learned, advances, expectations]. *Atomnaya energiya — Atomic energy,* 2011, vol. 111, no. 3, pp. 126—131.

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.ru.

Vedernikova Marina Vladimirovna, PhD in Technical Sciences, Senior Researcher, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: vmv@ibrae.ac.ru.

Linge Igor Innokentevich, Doctor of Technical Sciences, Adviser, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: linge@ibrae.ac.ru.

Panchenko Sergey Vladimirovich, Senior Researcher at the Laboratory of Radioecology, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: panch@ibrae.ac.ru.

Utkin Sergey Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Deputy Director, Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences (52, Bolshaya Tulskaya st., Moscow, 115191, Russia), e-mail: uss@ibrae.ac.ru.

Bibliographic description

Bolshov L. A., Vedernikova M. V., Linge I. I., Panchenko S. V., Utkin S. S. The Chernobyl Accident and the Radioactive Waste Management. *Radioactive Waste,* 2026, no. 1 (34), pp. 6—15. DOI: 10.25283/2587-9707-2026-1-6-15. (In Russian).