

**МАТЕРИАЛЫ  
ЮБИЛЕЙНОЙ X РОССИЙСКОЙ  
НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА  
И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
В ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

**22-25 сентября 2015 г.**

**Москва, Обнинск**

Москва  
2015



МАТЕРИАЛЫ  
ЮБИЛЕЙНОЙ X РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
**РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
В ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

22-25 сентября 2015 г.

Москва, Обнинск

Москва 2015

УДК 621.039

**Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях:** Сб. материалов юбилейной X Российской научной конференции, 22-25 сентября 2015 г., Москва, Обнинск / Под общ. ред. Л. А. Большова.- М.:ООО «САМ Полиграфист», 2015. – 142 с.

Сборник материалов юбилейной Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях» предназначен для ученых и специалистов атомной науки и промышленности, занимающихся вопросами радиационной безопасности и защиты окружающей среды.

В сборнике представлены открытие и доклады пленарного заседания конференции, а также решение, принятое руководителями секций по итогам проведения конференции и одобренное Организационным и Программным комитетами.

Настоящее издание осуществлено при финансовой поддержке Федерального агентства научных организаций.

Конференция организована при поддержке Госкорпорации «Росатом», Российской академии наук, Федерального агентства научных организаций, ИБРАЭ РАН и НОУ ДПО «ЦИПК Росатома».

Составители: Блохин П. А., Линге Ин. И., Хохлачева А. В.

Поступившие материалы подверглись минимальной редакторской правке. Составители выражают благодарность всем авторам за предоставленные доклады.

Подписано в печать 18.12.2015 г. Формат 60х90/8. Бумага офсетная.  
Печать цифровая. Тираж 130 экз. Заказ № 57849.

Отпечатано в типографии «OneBook.ru» ООО «Сам Полиграфист».  
129090, г. Москва, Протопоповский пер., дом 6.  
[www.onebook.ru](http://www.onebook.ru)

**ISBN 978-5-00077-380-2**

© Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2016

## Содержание

1. От составителей .....	5
2. Решение конференции .....	7
3. Открытие конференции .....	15
4. Научные доклады пленарного заседания .....	23
<i>Крюков О. В., Абрамов А. А.</i> Итоги реализации ФЦП ЯРБ 2008–2015 и задачи на будущее.....	24
<i>Большов Л. А.</i> Научные исследования и разработки в области безопасности ядерных технологий и ФЦП ЯРБ 2008-2015 гг.....	36
<i>Гаврилов П. М.</i> Обеспечение безопасности при замыкании ядерного топливного цикла на ФГУП «ГХК» .....	50
<i>Иванов О. П., Колядин В. И., Лемус А. В., Музрукова В. Д., Семенов С. Г., Павленко В. И., Фадин С. Ю., Чесноков А. В., Шиша А. Д.</i> Обеспечение безопасности при работах по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ в НИЦ «Курчатовский институт» .....	58
<i>Линге И. И.</i> Основные итоги работ по радиационной защите и радиационной безопасности в рамках ФЦП ЯРБ .....	69
<i>Хамаза А. А.</i> Научные основы регулирования безопасности и итоги ФЦП ЯРБ.....	81
<i>Уйба В. В., Романов В. В., Самойлов А. С., Шандала Н. К.</i> Радиационная защита и здоровье работников атомной отрасли и населения, проживающего в районе расположения радиационно опасных объектов России .....	90
<i>Романович И. К.</i> Актуальные задачи радиационной гигиены в свете итогов ФЦП ЯРБ.....	97
<i>Румынин В. Г., Никуленков А. М., Синдаловский Л. Н., Шварц А. А.</i> Гидрогеологическое моделирование и его параметрическое обеспечение при обосновании долговременной безопасности пунктов окончательной изоляции РАО в геологических формациях .....	111
<i>Алексахин Р. М.</i> Радиоэкология и вопросы радиационной безопасности: современное состояние и актуальные задачи .....	122
<i>Арутюнян Р. В.</i> Чрезвычайные ситуации радиационного характера. Опыт мониторинга, прогнозирования и научно-технической поддержки реагирования.....	126
5. Решение НТС № 10 по вопросу «Прогноз развития науки и технологий в сфере обеспечения экологической, ядерной и радиационной безопасности» .....	137



*1. От составителей*

Решение о проведении юбилейной X Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях» (далее – Конференция) принято Госкорпорацией «Росатом» в 2014 году. Уже в начале 2015 года созданы Организационный и Программный комитеты Конференции. Дальнейшая подготовка Конференции проходила при активном участии их членов, ИБРАЭ РАН, НОУ ДПО «ЦИПК Росатома», Российской академии наук, Федерального медико-биологического агентства, Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, Федерального агентства научных организаций.

В состав материалов включено решение Конференции, которое обсуждалось на её пленарных заседаниях. В пленарном заседании открытия Конференции, приняли участие ведущие ученые России. Содержание заслушанных докладов позволило принять решение о необходимости их совместного опубликования. Эти доклады составляют основу настоящего сборника материалов Конференции, издаваемого при финансовой поддержке Федерального агентства научных организаций. Одновременно Госкорпорацией «Росатом» также принято решение поддержать издание сборника материалов секционных заседаний Конференции.

Традиционно значимую часть решения Конференции составляет определение приоритетных направлений исследований по рассматриваемой тематике Конференции. Но 2015 год имел определенную особенность. В этом году по инициативе Президиума Научно-технического Совета Госкорпорации «Росатом» в специализированных НТС проводилось специальное обсуждение прогнозов развития науки по направлениям деятельности. По этой причине составители сочли возможным в рамках материалов Конференции разместить Решение НТС № 10 Госкорпорации «Росатом» по вопросу «Прогноз развития науки и технологий в сфере обеспечения экологической, ядерной и радиационной безопасности», где обсуждались вопросы развития науки и технологий в сфере обеспечения экологической, ядерной и радиационной безопасности.

В завершение материалов сборника приведены составы Организационного и Программного комитетов Конференции.

## *2. Решение Конференции*





## юбилейная X Российская научная конференция Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях

### РЕШЕНИЕ КОНФЕРЕНЦИИ

В период 22-25 сентября 2015 года в г. Москва и г. Обнинск прошла юбилейная X Российская научная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях» (далее – Конференция).

Конференция была организована Госкорпорацией «Росатом», Российской академией наук, Федеральным агентством научных организаций, Институтом проблем безопасного развития атомной энергетики РАН и НОУ ДПО «ЦИПК Росатома» и посвящена решению ключевых научно-технических вопросов завершающейся федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (далее – ФЦП ЯРБ-1).

Программа Конференции включала проведение 2 пленарных заседаний и работу семи секций, ориентированных на задачи:

1. Теория, методы, программы и результаты расчетов переноса ионизирующих излучений в веществе. Базы данных.

2. Теория, методы, программы и результаты расчетов распространения и миграции радиоактивных веществ внутри ядерных установок, на промышленной площадке и в окружающей среде.

3. Методы и результаты экспериментальных исследований в области радиационной защиты и радиационной безопасности.

4. Обеспечение безопасности проектируемых, действующих и остановленных радиационно опасных объектов.

5. Радиационная безопасность при выводе ядерно-технических установок из эксплуатации. Программные средства обоснования безопасности вывода из эксплуатации ЯРОО.

6. Обращение с радиоактивными отходами и ядерными материалами.

7. Радиационные технологии, радиационная медицина, радиационная экология.

Конференция стала крупным научным форумом. На Конференции рассмотрено 22 пленарных и более 200 секционных и стендовых докладов. В открытие Конференции приняли участие представители федеральных органов исполнительной власти и Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации.

В работе Конференции приняло участие более 450 специалистов. Среди них 13 членов Российской академии наук, 41 доктор наук и 55 кандидатов наук.

Содержание докладов и состоявшихся обсуждений по итогам Конференции может быть разделено на три направления, по которым даны выводы и рекомендации:

- Общий прогресс и актуальные задачи в сфере радиационной защиты и радиационной безопасности.

- Ключевые результаты и рекомендации по отдельным направлениям исследований.

- Рекомендации по организации следующей Конференции.

## **Общий прогресс и актуальные задачи в сфере радиационной защиты и радиационной безопасности**

Период, прошедший с 9-й конференции (2006–2015 гг.), характеризуется существенной эволюцией международной системы радиационной защиты и обеспечения радиационной безопасности. Международная комиссия по радиационной защите опубликовала в 2007 году свои новые Рекомендации и затем 28 публикаций (№ 104-131), разъясняющих отдельные положения системы радиационной защиты. В том числе впервые предложена концепция и модели, направленные на защиту биоты от радиационного воздействия. Международное агентство по атомной энергии в кооперации с другими международными организациями, в том числе системы ООН, разработало иерархический свод стандартов безопасности, начиная от основополагающих принципов, общих требований безопасности, и заканчивая конкретными требованиями и руководствами по безопасности для отдельных видов использования атомной энергии.

Отечественные органы регулирования в области ядерной и радиационной безопасности взяли курс на гармонизацию федеральных норм и правил с международными стандартами, как путем активного участия в работе международных организаций, так и достаточно оперативного внедрения международных подходов в нормативную правовую базу Российской Федерации с учетом национальной специфики.

Вторым решающим фактором последнего десятилетия стала успешная реализация ФЦП ЯРБ-1. В ФЦП ЯРБ-1 научному обеспечению планирования и выполнения мероприятий была отведена исключительная роль, что способствовало как эффективной и успешной реализации практических задач, так и дальнейшему развитию научно-технического потенциала в данной области:

1. Обеспечение ЯРБ потребовало существенного развития научного потенциала в области обращения с ОЯТ и РАО, вывода из эксплуатации ЯРОО, который позволил решить крупные и актуальные проблемы заключительных стадий жизненного цикла объектов использования атомной энергии:

- сооружено новое, рекордное по показателям безопасности и объему хранения сухое хранилище ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 и РБМК-1000 и прототип перерабатывающего завода третьего поколения ОЯТ реакторов ВВЭР-1000 на ФГУП «ГХК»;

- в отношении более 10 разновидностей ОТВС промышленных, энергетических и исследовательских реакторов многократно увеличены темпы перевода накопленного отработавшего ядерного топлива в безопасное состояние;

- обоснованы и безопасно реализованы работы по повышению безопасности более 400 объектов наследия, 53 из которых ликвидированы. Выполнены работы по таким уникальным объектам как озеро Карачай, Теченский каскад водоемов, промышленный реактор ЭИ-2, хранилища ОЯТ ХОТ-1, пункты глубинного захоронения ЖРО, исследовательские ядерные реакторы НИЦ КИ и др.;

- освоены новые технологии расчетного сопровождения работ по выводу из эксплуатации, включая 3D-моделирование планируемой деятельности, использование в этих целях соответствующих тренажеров;

- выполнен значимый объем исследований в обоснование безопасности пункта захоронения геологического типа и конечного состояния всех объектов наследия;

- глубокие научные исследования позволили улучшить экономику выполнения основных мероприятий при соблюдении основных требований безопасности, в том числе:

- в рамках ФЦП ЯРБ-1 при привлечении широкого круга ученых в сфере радиационной безопасности предложено и обосновано более 80 эффективных решений с экономией расходов будущих периодов на более чем 250 млрд руб.;

- установлена необходимость обязательной экспертизы экономической эффективности проектных решений по объектам наследия.

2. Основной механизм достижения ЯРБ – системный анализ и решение ключевых проблем. Создан задел для разработки стратегического плана системного решения проблем наследия:

– проведена инвентаризация ЯРОО и первичная регистрация накопленных РАО;

– все критичные по уровню потенциальной опасности объекты включены в ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года» (ФЦП ЯРБ-2);

– наработан и обобщен технологический опыт ведения работ при реализации стратегических планов.

Актуальность и ценность разработок подтверждается вовлечением в работы ФЦП ЯРБ-1 заинтересованных федеральных органов исполнительной власти и национальных научных центров. Устойчивое финансирование в сфере НИР и НИОКР по радиационной защите и радиационной безопасности позволило решать научно-технические задачи с широким охватом объектов и процессов, включая уникальные объекты наследия, характеризующиеся длительными временами потенциальной опасности.

Несмотря на очевидные успехи ФЦП ЯРБ-1, научное сообщество поддерживает и отмечает необходимость реализации мероприятий, предусмотренных проектом ФЦП ЯРБ-2 (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2015 года № 1248). Новая программа нацелена на дальнейшее решение проблем ядерного наследия, актуальность которых была осознана при решении задач ФЦП ЯРБ-1. К ним относятся:

– разработка унифицированной системы кодов для анализа безопасности объектов ядерного наследия, дальнейшее развитие и интеграция в единые комплексы средств и методов инструментального анализа состояния ОЯН;

– формирование комплексного подхода к обоснованию безопасности пункта захоронения геологического типа, конечного состояния всех объектов наследия;

– дальнейшее развитие нормативной правовой базы в части регулирования безопасности при реализации заключительной стадии жизненного цикла ОИАЭ;

– перевод в безопасное состояние всех критичных по уровню потенциальной опасности объектов ядерного наследия;

– выработка механизмов долгосрочного стратегического планирования в вопросах ядерной и радиационной безопасности.

### **Ключевые результаты и рекомендации по отдельным направлениям исследований**

1. Расчетные коды и методы.

Конференция отметила:

– существенный прогресс в области развития отечественных кодов, ориентированных на проведение анализа безопасности ЯРОО различных категорий, в том числе:

- расчетный код GeRa – трехмерное моделирование распространения загрязняющих веществ в геологических средах;

- программно-технический комплекс ОБОЯН – комплексная оценка радиационной, экологической и ядерной безопасности объектов ядерного наследия;
  - программа RTS&T - прецизионное моделирование связанного переноса многокомпонентного излучения частиц высокой энергии методом Монте-Карло;
- существенные продвижения в следующих важнейших направлениях развития методов расчета радиационной защиты:
- использование гибридной методики CADIS для уменьшения дисперсии в расчетах задач глубокого проникновения методом Монте-Карло;
  - разработка алгоритмов и программ решения уравнения переноса в трехмерной x-y-z геометрии на нерегулярных тетраэдральных сетках с применением балансных разностных схем 3-4-го порядка точности и KP1 схемы ускорения внутренних итераций;
  - разработка алгоритмов и программ решения уравнения переноса в двухмерной и трехмерной геометриях на регулярных сетках с использованием нодальных схем 3-4-го порядка точности, KP1 схемы ускорения внутренних и внешних итераций и применением для аппроксимации геометрии на сетке задачи volume fraction метода, поддерживающего локальный баланс масс в ячейках сетки.

Конференция рекомендует:

– признать, что в задачах анализа и прогнозирования радиационной обстановки при атмосферных выбросах активности перспективными направлениями исследования являются применение CFD-методов в условиях городской и промышленной застройки, в связи с чем необходимо шире использовать методики регионального метеорологического прогноза высокого разрешения в аварийном реагировании. При этом требуется оперативно использовать реальную метеорологическую информацию временных рядов для оценки радиационных последствий продолжительных аварийных выбросов.

## 2. Бенчмарк-эксперименты.

Конференция отметила:

- значимость и сохраняющуюся актуальность результатов по формированию системы бенчмарков для расчета радиационной защиты на основе экспериментальных данных о спектрах утечки радионуклидных источников нейтронов и фотонов, размещенным внутри сфер различного состава с (АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»), и скоростях реакций в защитных композициях, полученных в экспериментах, выполненным в АО «НИКИЭТ» в 1976–1991 годах на исследовательском реакторе ИР-50 с привлечением современных программных средств и библиотек сечений;
- высокую информативность результатов измерений пространственно-энергетических характеристик полей нейтронов и гамма-квантов, выполненных с использованием нового широкодиапазонного сцинтилляционного спектрометра-дозиметра, изготовленного с использованием цифровых технологий, и автоматизированной системы позиционирования детекторов в облучательном объеме (величиной 100 м<sup>3</sup>), сопровождаемого видеонаблюдением;

- методику поиска оптимальной структуры и конфигурации радиационной защиты, обращающуюся при оптимальном поиске непосредственно к программному коду, решающему уравнение переноса в 2D- или 3D-геометриях.

Конференция рекомендует:

– проводить комплексную работу по созданию отечественной базы данных бенчмарк-исследований переноса ионизирующих излучений с целью формирования представительного набора исходных данных для верификации расчетных кодов, используемых в проектных разработках радиационной защиты и радиационной обстановки на объектах использования атомной энергии, координировать работу по постановке новых и анализ результатов выполненных ранее экспериментов, рекомендуемых для их использования в работах по верификации расчетных кодов. Для организации и координации этого процесса необходимо создать рабочую группу из числа специалистов предприятий Госкорпорации «Росатом» (АО «НИКИЭТ», АО «ОКБМ Африкантов», АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»), РАН (ИБРАЭ РАН) и НИЦ «Курчатовский институт». Передать наиболее информативные результаты отечественных бенчмарков в международную электронную базу данных по бенчмаркам в области радиационной защиты SINBAD;

– рассматривать модернизированную установку ОР-М НИЦ «Курчатовский институт», которая входит в перечень уникальных действующих исследовательских установок России, как центр коллективного пользования в рамках проведения экспериментов, класса «бенчмарк» в области реакторной физики.

### 3. Вывод из эксплуатации ЯРОО и обращение с РАО и ОЯТ:

Конференция рекомендует:

– расширить внедрение информационных технологий с использованием трехмерного моделирования в практику обоснования радиационной безопасности выполнения работ на заключительной стадии жизненного цикла ОИАЭ;

– тиражировать опыт работ НИЦ «Курчатовский институт» по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов. В частности – применение дистанционно управляемых механизмов и разработанных методов и средств дистанционной диагностики;

– вовлекать в хозяйственное использование металлы, содержащие радиоактивные вещества;

– использовать установки серии МКС (измерение выгорания, изотопного состава и остаточного тепловыделения) для корректного учета запасов изотопов урана и плутония в ОТВС РБМК-1000 и ВВЭР-1000 при их передаче на централизованное сухое хранение;

– разработать и развить нормативные документы по:

- безопасному выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии и в первую очередь тех из них, которые являются объектами ядерного наследия;

- различным аспектам отнесения РАО к особым РАО, включая гармонизацию подходов и требований органов регулирования, а также периодичности радиационного контроля пунктов консервации и захоронения РАО.

## **Рекомендации по организации следующей Конференции**

Конференция впервые проходила в условиях широко ведущихся работ по обеспечению безопасности объектов ядерного наследия. С учетом новых задач включение в программу Конференции секции № 2 полностью себя оправдало. Это практику следует продолжить.

Почти 9-летний перерыв между 9-й и 10-й Конференциями всеми участниками охарактеризован как избыточный. Общее мнение участников состояло в том, что в дальнейшем Конференцию рекомендуется проводить на регулярной основе, один раз в 4 года. С учетом большого количества докладов, поданных на секцию № 7, следует конкретизировать тематику секции, а доклады, связанные с радиационной медициной, лечением и т. п. стоит направлять в профильные конференции, которые проводятся Министерством здравоохранения России. Одновременно целесообразно рассмотреть вопрос о более обстоятельном рассмотрении научных вопросов обеспечения радиационной безопасности работников атомной отрасли и реабилитации загрязненных территорий, в том числе по завершении работ по выводу из эксплуатации.

## **Благодарности**

Организационный и Программный комитеты выражают благодарность:

Руководству Госкорпорации «Росатом», Российской академии наук, Федерального агентства научных организаций, Федерального медико-биологического агентства и Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за участие в подготовке и работе Конференции.

Руководителям секций конференции:

- к.ф.-м.н. Волощенко Андрею Михайловичу (ИПМ РАН);
- д.ф.-м.н. Семенову Владимиру Николаевичу (ИБРАЭ РАН);
- д.ф.-м.н. Мадееву Виктору Георгиевичу (НИЦ «Курчатовский институт»);
- к.т.н. Васюхно Владимиру Петровичу (АО «НИКИЭТ»);
- к.ф.-м.н. Пышко Александру Павловичу (АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»);
- д.т.н. Былкину Борису Константиновичу (НИЦ «Курчатовский институт»);
- к.т.н. Уткину Сергею Сергеевичу (ИБРАЭ РАН);
- к.б.н. Козьмину Геннадию Васильевичу (ВНИИ РАЭН);
- д.ф.-м.н. Кураченко Юрию Александровичу (АО «ГНЦ РФ-ФЭИ»)

за добросовестный труд и продуктивную работу.

Участники Конференции выражают благодарность д.ф.-м.н. Петрову Эрнесту Ефимовичу за большой личный вклад в проведение 1-10-й Конференций.

Конференция выражает благодарность Управлению по выводу из эксплуатации ЯРОО Госкорпорации «Росатом» за поддержку идеи проведения Конференции, а также Линге Иннокентию Игоревичу (ГК «Росатом»), Блохину Павлу Анатольевичу (ИБРАЭ РАН) и Аспидову Владимиру Вячеславовичу (НОУ ДПО «ЦИПК Росатома») за решающий личный вклад в организацию Конференции.

## **Поздравления**

Программным комитетом было принято решение о награждении почетными дипломами лучших докладов секционных заседаний. По решениям председателей секционных заседаний, почетными дипломами отмечены:

- Винницкий В. А. – «Перспективы применения слабодиссоциирующих ионитов в системах СВО АЭС для снижения объема образующихся РАО»;
- Ганцовский П. П. – «Проблема обеспечения качества измерений при радиационном контроле нейтронного излучения»;
- Ехлаков И. А. – «Автоматизированная методика поиска оптимальной компоновки радиационной защиты»;
- Кабирова Н. Р. – «Состояние и перспективы медико-дозиметрического регистра персонала производственного объединения «Маяк»;
- Ляшко И. А. – «Информационная система поддержки принятия регулирующих решений при транспортировании отработавшего ядерного топлива реакторов ВВЭР и РБМК в транспортных упаковочных комплектах нового поколения»;
- Михеев Ю. В. – «Радиоэкологический мониторинг при обследовании и подъеме затопленных потенциально опасных объектов в целях реабилитации морских акваторий»
- Моргунова Т. С. – «Система оперативного прогнозирования радиационной обстановки на базе прогностических полей метеопараметров (модель wrf-arw) и лагранжевой стохастической модели переноса радиоактивных веществ в атмосфере»;
- Никитина И. В. – «Полимерные композиты – материалы защиты для обеспечения безопасности проектируемых радиационно опасных объектов и технологий»;
- Николаева О. В. – «Решение задач радиационной защиты на неструктурированных тетраэдрических сетках»;
- Пикалов В. А. – «Выведенный пучок ядер углерода для медицинского и радиобиологического применений»;
- Трусова Е. А. – «Подготовка BENCHMARK-экспериментов для верификации программных средств расчетов радиационной защиты»;
- Юрманов В. А. – «Совершенствование химических технологий для обеспечения радиационной безопасности при выводе из эксплуатации энергоблоков РБМК»;
- Филиппова М. Ф. – «Разработка методики расчета массопереноса летучих продуктов деления в контурах быстрых натриевых реакторов».

Председатель Программного комитета,  
директор ИБРАЭ РАН, чл.-корр. РАН

Л. А. Большов

Председатель Организационного комитета,  
директор по государственной политике  
в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО

О. В. Крюков

### *3. Открытие конференции*



**Ведущий – директор ИБРАЭ РАН, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор  
Большов Леонид Александрович**



Мы собрались на первое пленарное заседание 10-й юбилейной Российской научной конференции «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях», посвященной результатам реализации ФЦП ЯРБ.

Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» – это первая серьезная программа, посвященная решению проблем ядерного наследия и завершающих стадий жизненного цикла объектов использования атомной энергии. Поскольку это научная конференция, акцент мы постараемся сделать на научном обосновании работ в этой области. У нас обширная программа, конференция собрала большое количество участников – 250 докладов. Сегодня для Российской конференции это вполне значимое число и предлагаю начать нашу работу с приветствий руководителей академии и федеральных органов власти – исполнительной и законодательной. И первое слово Николаю Павловичу Лавёрову, которого в этих кругах и этой аудитории представлять не нужно.

**Вице-президент РАН, академик, Председатель Президиума НТС  
Госкорпорации «Росатом», д.г.-м.н. Лавёров Николай Павлович**

По ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» была проделана огромная работа, для того чтобы мы с вами могли собраться в этот юбилейный год. Я только что вернулся с заседания, которое состоялось в Вене в МАГАТЭ, научный комитет МАГАТЭ в этом году тоже был посвящен очень важной проблеме: всему тому, что связано с использованием достижений науки и технологии в использовании атомной энергии в неэнергетическом секторе, и другим направления развития, которых стало очень много. Действительно, это было впечатляющее заседание научного комитета МАГАТЭ. Это первое, что я хотел сказать. Руководитель Росатома Кириенко сделал, на мой взгляд, блестящий доклад на этом заседании, где было отмечено, что у нас юбилейный год – 70-й – и встречено это было с очень большим уважительным отношением к той ядерной науке и технике, которая развита у нас в России.



Важным для меня лично еще является и то, что в течение многих лет в Президиуме Академии наук я занимался радиационной безопасностью. Был создан такой фонд в свое время, «Люксембургский форум», который занимается радиационной безопасностью, также мы собираемся продолжить работу вместе с коллегами из США в ближайшем будущем. Очень много было сделано после 1991 года, когда новая Россия встала у руля и

у этой программы в области радиационной безопасности, которая сейчас называется обеспечение ядерной и радиационной безопасности.

Вы знаете, что наследие, которое мы называем ядерным, связано с гонкой вооружений, осталось в России очень значимым, и проблемы, которые связаны с радиационной безопасностью, обусловлены не только катастрофическими процессами, которые мы с вами в последние годы часто обсуждаем – Фукусима, перед этим Чернобыль, по которым по сути дела были приняты необходимые решения. Когда такого рода катастрофы происходят в радиационной безопасности и технические решения, связанные с энергетикой, переходят определенные пределы, то ООН принимает решение о недопустимости использования подобных технологий в практике развития международного технологического комплекса, связанного с использованием ядерной энергии. Я был участником конференции, которую ООН проводила в г. Сендай (недалеко от Фукусимы) в конце прошлого года, и мы вместе с министром МЧС России В. А. Пучковым имели возможность обсуждать эти проблемы и на этом мероприятии ООН под руководством Пан Ги Муна.

Мне бы хотелось сегодня подчеркнуть, что у нас масштабы наследия сейчас в полной мере определены, и ведется его плановая ликвидация. Скоро мы полетим на ПО «Маяк», будем смотреть, что делать дальше в этом районе. Ведется успешная работа по организации обращения с отработавшим ядерным топливом. В последние годы существенно были продвинуты решения проблем, связанных с остекловыванием отходов, с разработкой матриц. Очень важной является работа Росатома по направлению «Прорыв», которая широко известна. Полагаю, что это достойные подарки к юбилею, который мы отмечаем как юбилей с даты создания той организации, которая первой в СССР работала в атомной отрасли очень длительное время.

Мне особенно это приятно, потому что я начал свою трудовую деятельность в атомной промышленности. Не могу не сказать о поисках урана, чем я начал заниматься в 1947 году. Так как это было очень давно, то здесь в этом зале людей, кто взял в первый раз радиометр в руки в 1947 году, не много найдется. Хочется сказать, что мы отмечали очень хорошо, и 50-летие, и 60-летие, и вот сейчас 70-летие отмечаем. Здесь присутствуют люди, которые держали не только радиометр, например, адмирал Саркисов держал что-то и посущественнее.

Одно из последних наших научных заседаний проводилось в Севастополе. И я был очень рад, что ИБРАЭ РАН, который возглавляет Леонид Александрович, выглядел очень солидно, анализируя все то, что было сделано в России после того, как распался Союз, и ядерное наследие, оставшееся от гонки вооружений, было одной из главных опасностей, которой нас очень пугали. Не могу не отметить очень большую работу, которая была проведена с Советом Безопасности в связи с созданием специальной комиссии по радиационной безопасности. Хочу подчеркнуть, что я эту комиссию возглавляю уже двадцать лет, а также комиссию по экологической безопасности.

Совет Безопасности проделал огромную работу, связанную с обеспечением радиационной безопасности и других видов безопасности. Поэтому позвольте сказать огромное спасибо, потому что все присутствующие здесь принимали значительное участие в устранении последствий гонки вооружений, устранении экологической опасности, вызванной этим процессом, и я хочу сказать спасибо всем, кто присутствует, и

поздравить от Президиума с юбилеем отрасли. Успехов и всего доброго не только в Конференции, но и той жизни, что вы живете.

**Ведущий:** Поскольку мы в эти несколько дней собираемся говорить о безопасности и о том, как мы эту безопасность обеспечиваем, последнее слово в том, что безопасно, а что небезопасно говорит, разумеется, надзор. И я очень рад предоставить слово нашему главному атомному регулятору зам. руководителя Ростехнадзора А. В. Ферапонтову.

**Заместитель руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору к.т.н. Ферапонтов Алексей Викторович**

Хочу сказать следующее. В России называют это словом «надзор», в Советском Союзе это называли «надзор», американцы называют это «watch dock», но все-таки на международной площадке, такой как МАГАТЭ, мы звучим как регулятор, и деятельность надзора, в первую очередь должна быть регулирующая. Мы должны участвовать в регулировании безопасности, а не просто наблюдать за ее исполнением. На это и даны соответствующие полномочия.

Очень рад, что в этом году мы отмечаем 70-летие атомной отрасли в России, очень горд за то положение, которое страна заняла на международной арене. Это в очередной раз показало участие российской делегации на 59-й Конференции МАГАТЭ, которая вот буквально на прошлой неделе закончилась. Как сказал Сергей Владиленович в докладе председателю Правительства в этот четверг, может быть это и нескромно, но мы первые. Сегодняшняя научная конференция будет в первую очередь посвящена итогам грандиозной программы, которая была реализована в Российской Федерации – ФЦП ЯРБ-1 – и грядущей ФЦП ЯРБ-2.

Россия является страной, которая может доказать свою приверженность системности решений вопросов наследия – как военного наследия, так и наследия использования мирного атома. Вспомним о наших реакторах, например, Атом Мирный Большой 1 и Атом Мирный Большой 2, давно остановленных на Белоярской АЭС. И чем всё это закончилось. Как долго мы боролись с решением этой проблемы, которую мы, к сожалению, до сих пор до конца не решили, но, по крайней мере, наметили пути её решения. Да, Россия осознала, Россия пересчитала на сегодняшний день, попыталась пересчитать, объем и размер накопленного ущерба. Это было сделано в рамках совместных работ ГК «Росатом», ИБРАЭ и НТЦ ЯРБ. И я думаю, что в рамках ФЦП ЯРБ-2 нам удастся многие проблемы решить, в том числе и проблему ОЯТ АМБ.

Кроме этого, я хотел сказать, что в рамках ФЦП ЯРБ-1 может быть впервые за много лет особое внимание было уделено экспертной и научной работе по сопровождению этой программы. Наконец-то возобновились научные исследования, наконец-то появилась реальная научная экспертиза (была возобновлена). И, я думаю, это продлится в рамках реализации 2-й программы. В этом году совместно с Росатомом Ростехнадзору пришлось отчитываться об исполнении требований, вытекающих из Объединенной конвенции. Один из основных вопросов также был о ликвидации накопленного ущерба, и доклад Российской Федерации в этом году, безусловно, был



лучшим. Это заслуга ваша, это заслуга отрасли. Конечно, и Ростехнадзор как регулятор тоже принял в этом некоторое участие. Поэтому я хочу поздравить вас с 70-летием, хочу поздравить с началом конференции и пожелать дальнейших прорывов, не в смысле проект «Прорыв», а в смысле прорывов в тех направлениях, решении тех задач, которые перед вами стоят.

**Ведущий:** Следующее слово для приветствия. Про науку поговорили, про регуляторов поговорили. Слово передается представителю агентства, которое обеспечивает здоровье и безопасность всех участвующих в этой работе.

**Заместитель руководителя Федерального медико-биологического агентства России д.б.н. Назаров Виктор Борисович**



Уважаемый Леонид Александрович, уважаемый Николай Павлович, дорогие друзья и коллеги, поздравляю вас с 10-й Юбилейной конференцией, с 70-летием атомной отрасли России.

Все эти 70 лет мы шли рука об руку, и когда начинался большой атомный проект, у нас не было времени, чтобы сначала разобраться во всех требованиях безопасности обеспечения деятельности человека при работе на предприятиях атомной промышленности и атомной энергетики, а потом начинать. Мы тогда утратили бы лидерство и в гонке вооружений, и в атомной энергетике, но уже тогда мы понимали, что главная ценность нашей атомной отрасли – это люди. И все эти 70 лет мы старались сделать так, чтобы эти люди были защищены. И, конечно, если сейчас сравнить статистику профессиональной заболеваемости, которая была 70 лет назад, 60 лет назад и которая есть сегодня, то мы можем сказать, что профессиональная заболеваемость сейчас ничтожна или практически нивелирована. Это наша общая заслуга, заслуга регулятора и заслуга ученых, которые работали над тем, чтобы определить вредность факторов, чтобы создать требования к безопасным условиям, а также способы и методы лечения людей, которые пострадали в тех или иных ситуациях. И сегодня я скажу, что мы обслуживаем много особо опасных предприятий, и не только в атомной отрасли. Атомная отрасль России – безусловный лидер по соблюдению требований к безопасным условиям труда персонала и обеспечению здоровья контингента, за что мы вас благодарим и призываем дальше идти рука об руку, и не терять этого лидерства.

Программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года», которую мы все вместе реализовывали и итоги которой мы сейчас будем подводить, позволила совершить несколько очередных весьма существенных прорывов в научных и практических областях обеспечения безопасности деятельности человека. Принципиально изменены подходы к оценке воздействия с точки зрения внутренней дозиметрии в России. И сегодня Россия выходит в мире на лидирующие позиции по методологическому обеспечению подходов к внутренней дозиметрии. Принципиально изменены подходы к персонализированной оценке вероятности последствий негативного воздействия радиации на человека. Генетические подходы, протеомные подходы, комплексные подходы позволяют сегодня совершенно четко определить те категории лиц, которые подвержены избыточному риску или, наоборот, те,

которые обладают радиорезистентностью или могут гораздо легче переносить воздействие на них радиации. Принципиально новые подходы созданы в рамках программы «Лечение острых лучевых болезней, в том числе острых лучевых ожогов». И как вы знаете, сегодня у нас есть примеры, когда мы сохранили жизнь человеку с 80–процентным ожогом. Он выжил, он жив, он здоров, он будет жить долго, вернулся в семью. Это все возникло благодаря тому, что успешно реализовано одно из мероприятий программы ЯРБ-1.

Разрешите вас еще раз поздравить. Как представитель специализированной отрасли здравоохранения я не могу не пожелать вам здоровья. Я вам всем желаю крепчайшего здоровья. А в соответствии с официальным определением организации здравоохранения, здоровье – это состояние физического, психического, социального и материального благополучия. Всем вам этого желаю и успешной работы на Конференции.

**Ведущий:** После приветствия от исполнительной власти я хотел бы дать слово для приветствия представителю власти законодательной Владимиру Тимофеевичу Поцяпуну, который на протяжении многих лет возглавляет подкомитет по атомной энергии, который в течение многих лет осуществляет законодательную работу по атомному проекту.

**Депутат Государственной Думы шестого созыва Поцяпун Владимир Тимофеевич**



Спасибо большое, Леонид Александрович. И я люблю говорить по делу. На прошлой неделе к нам в комитет поступила на согласование ФЦП ЯРБ-2, многие из здесь присутствующих входят в наш экспертный совет при нашем комитете по энергетике. Сейчас всего 24 эксперта по этому направлению в Государственной Думе, поэтому хотелось бы, чтобы ФЦП ЯРБ-2 мы могли посмотреть. Нас правительство торопит быстрее дать отклик на нее. Довольно много наших экспертов в этом зале. Спасибо огромное, коллеги.

В прошлом созыве был принят соответствующий Федеральный закон по радиоактивным отходам. Законодательная работа продолжается и сейчас. Правительство вносило соответствующие правки, которые создавались при серьезном участии экспертов. Потому что только сама жизнь, сама практика показывала, что в первый раз мы не учли, что написали где-то, может быть, поспешно, а где-то чего-то было недостаточно. Но, тем не менее, работа эта постоянно идет, мы очень внимательно за этим направлением следим. Только за два прошедших года мы трижды были и в Сайда Губе, до Дальнего Востока не добрались, но очень много информации с той площадки тоже имеем.

Мне довелось еще до того, как стать депутатом, непосредственно поработать в реализации первой части программы. Поэтому знаком не понаслышке и до сих пор я в непосредственном контакте по всем, что называется, тонкостям, которые нам встречаются. И прежде всего именно в аспекте обеспечения со стороны законодательства. Есть спорные вопросы, есть зарубежный опыт. Кстати говоря, на позапрошлой неделе обратил внимание на следующее. Несмотря на все санкции, миллиард евро нам страны Европейского Союза на эту программу выделили: 500 миллионов на корабль итальянцы, а остальные страны 3 еще транши, не помню, в каких долях. То есть совершенно верно

Николай Павлович сказал, что это всё мировое сообщество, ну по крайней мере, европейская его часть внимательно смотрит на нашу деятельность в области ЯРБ.

Желаю вам всем успехов в работе этой конференции, это работа большая, тем более нас ждет вторая часть программы. Нас в Челябинске журналисты спрашивали: «А что там у вас, а сколько чего будет?» Очевидно, Николаю Павловичу придется в этот приезд с ними встречаться. Я, возможно, тоже полечу с Вами, и помогу отвечать на вопросы. Потому что общественность тоже знает, что есть такая программа, что есть государственные деньги, которые идут на ее обеспечение. Успехов!

**Ведущий:** Я хотел бы предоставить слово патриарху нашей науки по радиационной безопасности, представлять его не надо.

**Академик РАН, д.м.н., профессор Ильин Леонид Андреевич**



Уважаемые дорогие коллеги, конечно, я желаю успехов в работе этой Юбилейной Конференции.

Невозможно не признать существенные успехи, достигнутые в реализации ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Вместе с этим нельзя не отметить следующее. Важнейшая проблема сейчас – это передача нашего огромного научного опыта ученых, которые действительно убывают среди наших коллег, молодежи. Потому что возникают масса новых вызовов, о которых я думаю, что сегодня мы мало говорим, и допускаем огромную ошибку. Если вы внимательно посмотрите на все эти программы, это не про программу ФЦП ЯРБ-2, то вы обратите внимание, что повсеместно всюду отсутствует элементарное требование так называемого медико-биологического и экологического сопровождения технических программ. Вот посмотрите все эти программы и увидите. Практически финансирование важнейшего направления не предусмотрено. А вопрос в следующем. Сейчас нас с вами ожидают очень серьезные и большие вызовы. Первый вызов это, я просто предсказываю, что в ближайшие 10-12 лет на комиссии по радиационной защите будет поставлен вопрос об ужесточении нормативов радиационного воздействия на человека. Сейчас идет масса публикаций за рубежом, где доказывается, что дозовая нагрузка на человека, особенно на детское население, в пределах 5-10 мГр является опасной. Это в основном подтверждено на исследованиях по компьютерной томографии там, где детское население проходит соответствующее обследование. В нашем отечестве есть только в сущности две очень небольших ячейки – в нашем институте, в нашем центре, работающем на износ, и в еще одном из институтов Академии наук. Значит никакого собственного опыта в этом отношении, никаких данных относительно действительных факторов воздействия мы пока сейчас не располагаем. Мы только пользуемся зарубежными данными.

Следующий вызов опять-таки не предусматривался нигде с точки зрения медико-биологического сопровождения. В этот раз подчеркиваю. Вот знаменитый «Прорыв», важнейшая проблема нашей страны. Как известно, доказано, что если мы не перейдем в течение ближайших двадцати лет на замкнутый топливный цикл, то ядерная энергетика наша будет совершенно не конкурентоспособной. Но это факт известный, об этом многие специалисты в этой области говорят.

А что же нас ждет в будущем? Какие вызовы могут быть в этой области? Я сейчас не буду их перечислять, но их достаточно много, если вы внимательно посмотрите на вещи. Одна из очень сложных проблем, на которую многие не обращают внимания, но тем не менее и противников, кстати, у этой проблемы тоже нет. Это ториевый цикл. Там в результате некоторых ядерных превращений возникают нуклиды, в частности таллий-208, у которого энергия гамма-излучения равна 2,6 МэВ. Это может радикально изменить всю систему биологической защиты. Это опять тысячи тонн защитных материалов. Хоть кто-нибудь эти вещи просчитывал? То есть сейчас нам необходимо иметь мозговой центр из ведущих профессионалов: физиков-ядерщиков, радиохимиков, медиков, биологов, экологов, которые бы формулировали, может быть, в рамках нашей будущей программы вот эти идеи, их нужно обсуждать. Я очень опасаясь того, что, в конце концов, мы это все можем пропустить мимо из-за всяких финансовых вещей, и потом столкнемся с этими фактами. Таких фактов было очень много в нашей 70-летней истории. Но они, к счастью, благодаря огромнейшим усилиям наших ученых были все же локализованы. Поэтому я считаю, что в рамках нашей конференции сегодня, а это очень важная конференция, нам нужно сформулировать некие общие представления о том, какие дальше вызовы нас ожидают и куда нас приведут все эти проблемы. Подчеркиваю, без медико-биологического сопровождения этих работ, в конечном счете, можно оказаться в очень сложном положении. У нас огромный научный потенциал, уникальный в мире, и, думаю, мы должны им воспользоваться.

#### *4. Научные доклады пленарного заседания*



## ИТОГИ РЕАЛИЗАЦИИ ФЦП ЯРБ 2008-2015 И ЗАДАЧИ НА БУДУЩЕЕ

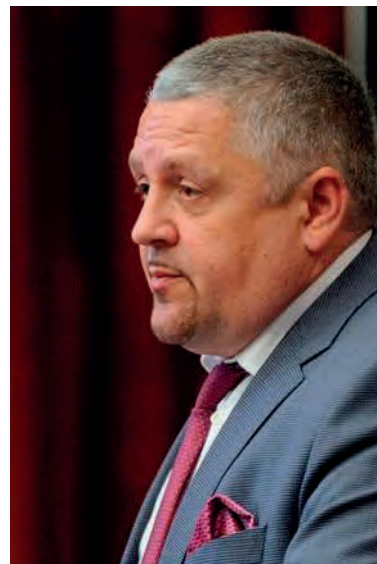
О. В. Крюков

Директор по государственной политике в области РАО, ОЯТ и  
ВЭ ЯРОО,

А. А. Абрамов

Заместитель директора по государственной политике  
в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО

*ГК «Росатом», г. Москва*



С учетом того, что в докладах на конференции будут подробно рассмотрены результаты работ по обеспечению ядерной и радиационной безопасности, которые достигнуты в рамках ФЦП ЯРБ-1, в докладе основное внимание будет уделено тем решениям, благодаря которым удалось успешно выполнить работы по следующим укрупненным направлениям:

1. Обращение с ОЯТ.
  - 1.1. Перевод на «сухое» хранение ОЯТ РБМК-1000.
  - 1.2. Вывоз ОЯТ исследовательских реакторов.
2. Обращение с РАО.
  - 2.1 Решение проблем Теченского каскада водоемов ФГУП «ПО «Маяк».
  - 2.2 Реализация первого этапа формирования ЕГС РАО.
3. Вывод из эксплуатации ЯРОО.
4. Утилизация АПЛ.
5. Утилизация РИТЭГ.

Даже в первые годы становления атомной отрасли ядерная и радиационная безопасность основных технологических процессов всегда была в фокусе внимания. А решение проблем завершающей части, из-за технологической неготовности, выполнения высоких задач, стоящих перед отраслью по созданию атомного оружия, отодвигали на последующие годы. И к началу двухтысячных годов эта проблема стала основным фактором, сдерживающим дальнейшее развитие атомной отрасли в России. Поэтому начали разрабатываться и реализовываться федеральные, отраслевые и международные программы.

Важнейшее направление деятельности государственной корпорации «Росатом» в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, входящее в ее контур ответственности – ликвидация ядерного наследия. Другое важное направление – прекращение накопления новых проблем в области обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ), радиоактивными отходами (РАО) и выводом из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов (ВЭ ЯРОО). Создаются системы по завершающим стадиям жизненного цикла. Одна из основных – единая государственная система обращения с РАО. Её создание законодательно обеспечено Федеральным законом № 190-ФЗ «Об обращении с РАО ...».

В этом направлении реализуются федеральные и отраслевые программы, осуществляется международное сотрудничество, а именно:

1. Федеральная целевая программа «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (ФЦП ЯРБ-1).

2. Подпрограмма «Промышленная утилизация атомных подводных лодок (АПЛ), подводных кораблей с ядерными энергетическими установками, судов атомного технологического обслуживания и реабилитация радиационно-опасных объектов на 2011-2015 годы и на период до 2020 года».
3. Глобальное сотрудничество (Северо-Запад и Дальний Восток), международная программа по РИТЭГам.
4. Межгосударственная целевая программа «Рекультивация территорий государств – членов ЕврАзЭС, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств».

Ключевым инструментом государственной политики в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности, безусловно, является ФЦП ЯРБ-1. Программу начали разрабатывать в 2006 году, по плану она включала в себя более трехсот мероприятий. В претворении программы в жизнь приняли участие 8 государственных заказчиков, а реализовывалась она более чем на четырехстах предприятиях различных ведомств. Госкорпорация «Росатом» выступала в роли как государственного заказчика, так и координатора программы в целом.

Результатов программы достаточно много. Главное, было достигнуто то, что ядерно и радиационно опасные объекты приведены в контролируемое и управляемое состояние (Таблица 1). Был снят риск аварийных ситуаций на всех объектах. До реализации программы перед нашей отраслью стояли критические проблемы: в частности, из-за реальной угрозы переполнения бассейнов выдержки ОЯТ, что привело бы остановку атомных станций, прежде всего, эксплуатирующих блоки РБМК; была очень острая ситуация на Теченском каскаде водоемов (ТКВ); существовали высокие риски выноса радиоактивных веществ из открытых водоемов-хранилищ; ряд объектов находился либо в аварийном, либо в предаварийном состоянии.

Однако сейчас, можно с уверенностью сказать, что к концу 2015 года наиболее острые проблемы успешно разрешены, и, главное, повторюсь – ситуация перешла в контролируемое состояние. Если говорить об итогах, то общая степень достижения целевых показателей программы 108,5 % (Рис. 1). Стоит отметить, что немногие ФЦП имеют такие достижения в России. При этом по мере выполнения программы, она была сокращена в финансовом отношении на 8,6 млрд руб.

*Таблица 1 – Изменение критических параметров ЯРБ в результате выполнения ФЦП ЯРБ*

2008 год	2015 год
Критическое заполнение хранилищ ОЯТ 90 %. ОЯТ РБМК накапливается на АЭС.	Уровень заполнения хранилищ снижен до 74%. Введено «сухое» хранилище. Начат вывоз ОЯТ с КуАЭС и ЛАЭС.
Сброс ЖРО в открытые водоемы–хранилища	Ликвидировано 4 открытых водоема–хранилища РАО.
Критическое состояние Теченского каскада водоемов	Теченский каскад переведен в контролируемое состояние
В режиме останова находятся 134 ЯРОО (ПУГР, блоки АЭС, ИР, ЯУ). Отсутствие опыта ВЭ.	Выведено из эксплуатации 53 ЯРОО. Реабилитировано 2,7 млн м <sup>2</sup> РЗТ
Отсутствует централизованная система радиоэкологического мониторинга	Создана система АСКРО с 32 ведомственными и территориальными подсистемами

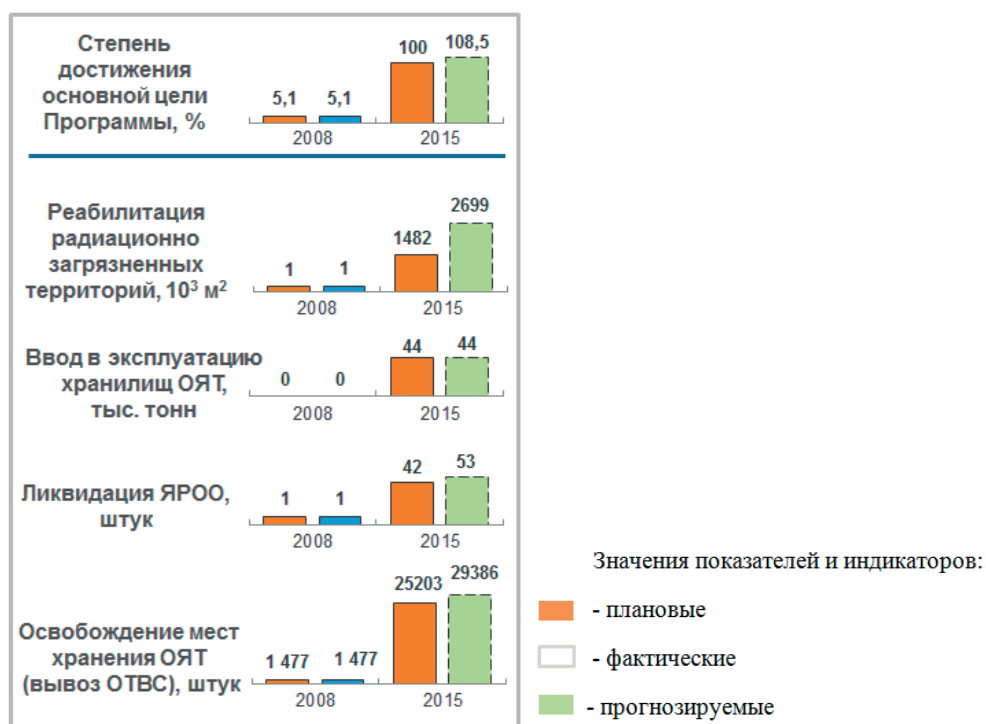


Рис. 1 – Индикаторы программы

Достижение таких результатов при значительном сокращении финансирования стало возможным благодаря ряду факторов. Прежде всего, управленческим решениям. Главную роль сыграли совместные усилия предприятий Госкорпорации, Минпромторга, Ростехнадзора, РАН, ФМБА. Отраслевыми институтами госзаказчиков разработано более 50 новых технологий, что позволило решить проблемы на практике перевести в решение инженерных задач, нежели научных.. Если в начале программы было неизвестно, каким образом обходиться с некоторыми видами отходов, то в ходе программы разработаны типовые решения, более того, они были апробированы и внедрены на различных объектах. За счет конкурсных процедур удалось сэкономить более 4 млрд руб. (Рис. 2). Было достигнуто решительное снижение удельной стоимости работ, в том числе:

- а) по реабилитации загрязненных территорий – в 4 раза;
- б) по выводу из эксплуатации – 2,5 раза;
- в) по стоимости транспортирования ОЯТ – в 3,2 раза.

Наглядный пример: первая сборка РБМК при вывозе стоила 722 тыс. руб., к 2015 году эта сумма уменьшилась до 200 тыс. руб. Реабилитация 1 м<sup>2</sup> загрязненной территории стоила около 10 тыс. руб., сейчас – менее 2 тыс. руб. Кроме того, вновь созданные опытно-демонстрационные центры по переработке ОЯТ, выводу из эксплуатации реакторных установок различных типов стали центрами компетенций по закрепленным направлениям. Все полномочия и ответственность по захоронению РАО закреплены за ФГУП «НО РАО».

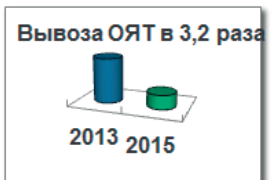


Рис. 2 – Снижение стоимости выполнения работ и их удельной стоимости

### 1 Обращение с ОЯТ

К ключевым работам программы относится, во-первых, обращение с ОЯТ, которое является самым опасным объектом наследия. Известно, что 99 % активности заключено в ОЯТ. Предыдущая концепция обращения с ним включала:

- а) долговременное хранение в пристанционных бассейнах выдержки, в мокром хранилище на ФГУП «ГХК»;
- б) переработку достаточно незначительной части на ФГУП «ПО «Маяк».

Эта концепция к 2000 годам показала свою недееспособность, потому как начали повсеместно проявляться коррозия и потеря герметичности отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) энергетических реакторов со сроками хранения 30 и более лет. На рисунке 3 продемонстрированы коррозионные повреждения топлива РБМК.

Наиболее сложная ситуация создалась на блоках АМБ Белоярской станции, где была разгерметизация топливных сборок и течь бассейна, что создавало реальную аварийную ситуацию. Рисунок 3 показывает фрагмент сборки топлива АМБ первых блоков Белоярской АЭС, остановленных почти тридцать лет тому назад.



Рис. 3 – Коррозионные повреждения топлива РБМК (а) и аварийная ОТВС (б)

Для решения этой проблемы было решено развивать инфраструктуру, а именно, был создан взаимосвязанный кластер, который включал в себя ряд крупнейших объектов России. К ним относятся: созданные отделения подготовки и обращения с отработавшим топливом на АЭС; разработанные и изготовленные транспортные средства; ряд реконструированных объектов на ФГУП «ГХК» и ФГУП «ПО «Маяк», и созданных на этих же предприятиях новых объектов (Рис. 4). На ФГУП «ПО «Маяк» была развита инфраструктура по переработке негерметичного топлива РБМК-1000 и АМБ. Стали перерабатываться многие виды ранее не перерабатывавшегося топлива исследовательских

реакторов. Большой объем выполненных работ по ФГУП «ПО «Маяк» связан с повышением экологичности завода РТ-1 и комбината в целом.



Рис. 4 – Общая схема здания ХОТ-2 (а) и внутренний вид (б)

### 1.1 Перевод на «сухое» хранение ОЯТ РБМК-1000

Колоссальной и очень сложной работой была разгрузка бассейнов выдержки ОЯТ реакторных установок РБМК, потому как пришлось синхронизировать не только ввод объектов в эксплуатацию, но и производительность узлов подготовки топлива на станциях, а также работу транспортников (Рис. 5).

Сооружение комплекса ХОТ-2 на ФГУП «ГХК» сопровождалось работой АО Концерна «Росэнергоатом» по созданию комплексов разделки ОТВС на АЭС и созданием транспортной инфраструктуры.

Для вывоза данного типа ОЯТ созданы:

- комплекты ТУК – 109 и ТУК- 109Т (контейнер, чехол, ампула);
- транспортеры ТМ2-3 и ТК-У.

Для безопасной транспортировки дефектного топлива РБМК-1000 специально разработан контейнер – ТУК-11Р-2 (Рис. 6), в который помещаются ампулы с ОЯТ (Рис. 7).



Рис. 5 – Обращение с ОЯТ РБМК- 1000



Рис. 6 – Общий вид ТУК-1IP-2



Рис. 7 – Ампула для размещения ОЯТ в ТУК

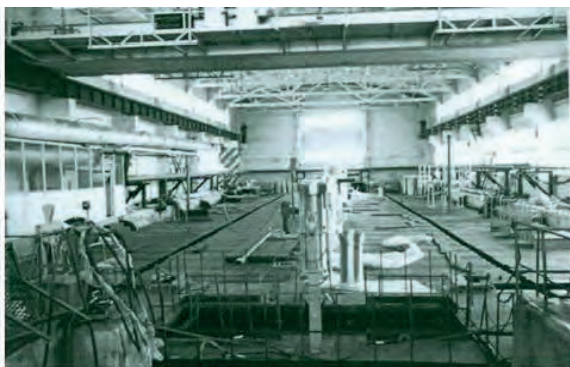
В настоящее время осуществляется регулярный вывоз ОЯТ с Ленинградской и Курской АЭС, а в 2016 году будет осуществляться и со Смоленской АЭС. Технологическая цепочка успешно работает, а стоимость операций транспортирования снижена в разы. Одно из главных достижений программы – снижение процента заполнения приреакторных бассейнов выдержки ОЯТ РБМК до 70 %.

Сделаны опытные транспортные ходки по перевозке дефектного ОЯТ. Определены объемы такого топлива – около 5 %, и апробирована технология его переработки на заводе РТ-1 ФГУП «ПО «Маяк». Серийный вывоз и переработка на РТ-1 предусмотрены с 2016 года.

## 1.2 Вывоз ОЯТ исследовательских реакторов

ОЯТ исследовательских реакторов многими десятилетиями накапливалось в крупных научных центрах: АО «ГНЦ НИИАР», АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», НИЦ «Курчатовский институт». В бассейнах выдержки ИР ситуация была не менее критична, но благодаря программе ситуация изменилась. Прделана большая работа по диагностике состояния ОЯТ ИР, разработке технологий выгрузки и транспортирования. Наглядно это можно продемонстрировать на примере АО «ГНЦ РФ-ФЭИ». Если вначале в программе была принята концепция реконструкции хранилища ОЯТ, то со временем стало ясно, что реконструировать и безопасно эксплуатировать это хранилище невозможно. На данный момент все отработавшее топливо, образовавшееся в АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», вывезено на переработку на ФГУП «ПО «Маяк», а хранилище освобождено и подготовлено к выводу из эксплуатации. Не менее сложной ситуация была в АО «ГНЦ НИИАР», на момент начала работ центральное хранилище ОЯТ в котором (Рис. 8) было заполнено более чем на 89 %, к 2015 году острота ситуации также снята. Более 70 % топлива вывезено из АО «ГНЦ НИИАР» на переработку на ФГУП «ПО «Маяк».

На рисунке 9 представлен общий вид транспортного пакета для перевозки ОЯТ указанного типа. Госкорпорацией «Росатом» обосновано увеличение финансирования соответствующего мероприятия почти на 450 млн руб. Итог – в этом году вывоз всего накопленного федерального ОЯТ из АО «ГНЦ НИИАР» будет завершен, а здание 125 подготовлено к выводу из эксплуатации. Кроме того, в ходе реализации программы удалось найти решения по уплотненной транспортировке пеналов.



*Рис. 8 – Бассейн выдержки  
центрального хранилища АО «ГНЦ  
НИИАР» (здание 177)*



*Рис. 9 – Транспортный пакет для  
перевозки ОЯТ ИР*

### **1.3 Итоги в области обращения с ОЯТ**

В результате выполнения мероприятий ФЦП ЯРБ вывезено, переработано или размещено на долговременное хранение почти 30 тыс. ОТВС, а именно:

- вывезено и размещено на долговременное хранение в ХОТ-2 11 874 ОТВС РБМК-1000;
- вывезено и размещено в ХОТ-1 3 240 ОТВС ВВЭР-1000;
- вывезено на переработку 7 625 ОТВС ИР, 3 545 ОТВС ВВЭР-440, 2 258 ОТВС БН-600;
- вывезено около 800 ОТВС ОЯТ ледокольного флота.

В обеспечение достижения отмеченных результатов, финансирование создания необходимых объектов инфраструктуры обращения с ОЯТ только одного ФГУП «ГХК» составило более чем 44 млрд руб.

Все транспортные операции с ядерными материалами осуществлены безопасно в полном соответствии с действующими нормами и правилами. В целом переведено в безопасные условия ОЯТ активностью  $7,6 \cdot 10^{19}$  Бк.

## **2 Обращение с РАО**

Сложнейшие проблемы были с РАО, и здесь на первом месте стояло решение проблемы открытых водоемов-хранилищ. Последней опасной ситуацией был ветровой разнос озера Карачай в 1967 году и загрязнение большой территории на 335 заводе ФГУП «ПО «Маяк». Вероятность повторения подобных ситуаций была велика, в связи с чем внимание было обращено на открытые водоемы-хранилища. Четыре из них были закрыты, а водная акватория ликвидирована. На Б-1, Б-25, ПХ-1, ПХ-2 на АО «СХК» выполнены подготовительные работы, которые продолжатся уже в следующей программе.

Также был ряд объектов, связанных с загрязнением не только в рамках работы атомной отрасли, но и других министерств Советского Союза, это были очень сложные по радиационным характеристикам объекты, объекты со сложной судьбой. За время выполнения программы были реабилитированы все аварийные мирные ядерные взрывы (МЯВ), к примеру, «Кратон-3» и «Кристалл» (Республика Саха - Якутия) и ряд других. Последним был реабилитирован «Глобус-1» в Ивановской области. Недавно стало известно о получении заключения Департамента природных ресурсов и экологии Ивановской области, которое подтверждает, что этот объект реабилитирован, и территория вокруг объекта снята с радиационного контроля. То же самое было сделано на

многих объектах предприятий Госкорпорации «Росатом». Закрыты несколько хвостохранилищ, в том числе бывшего государственного предприятия «Алмаз» (г. Лермонтов, Ставропольский край), в которых накоплено около 14 млн м<sup>3</sup> РАО. Были законсервированы все штольни бывшего рудника в горах Биштау и Бык. Закрыты бассейны – 354 на ФГУП «ГХК», Б-2 и Б-1 на АО «СХК».

На рисунке 10 приведена схема барьеров безопасности бассейна Б-2, а как он выглядит сейчас показано на рисунке 11. В 2015 году будет закрыта акватория В-9 на ФГУП «ПО «Маяк».

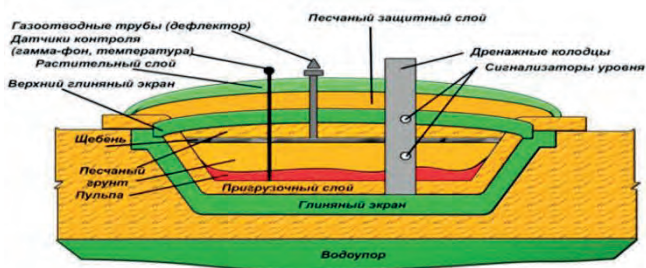


Рис. 10 – Схема барьеров безопасности Б-2



Рис. 11 – Б-2 после завершения работ

## 2.1 Решение проблем Теченского каскада водоемов ФГУП «ПО «Маяк»

Отдельно надо остановиться на ТКВ. В конце девяностых годов ситуация складывалась неблагоприятно. В 1997 году рост уровня крайнего водоема Теченского каскада, В-11, был более 1,5 м/год. Состояние ТКВ до начала работ, выполненных в рамках программы ЯРБ-1, было сопряжено со значительными рисками радиационной аварии, а именно, стояла реальная проблема возможности прорыва конечной плотины. Последствия потенциальной аварии на ТКВ, связанной с полным разрушением плотины П-11, можно было оценить как катастрофические. В Министерстве по атомной энергии тогда прорабатывалась возможность регулируемого сброса части П-11 в левобережный канал.

В течение программы были предприняты необходимые решения для обеспечения безопасности каскада. Прежде всего, основное внимание было направлено на конечную плотину. Риск разрушения плотины П-11 устранен сооружением бетонного гребня в плотине, и теперь это абсолютно надежный и управляемый объект. Также был выполнен ряд мероприятий по отводу избыточных вод ТКВ. Это 1 и 2 очереди общесплавной канализации (в сумме эти очереди отводят от водоема до 5,5 млн м<sup>3</sup>/год). Также были разработаны установки, создание которых планируется в рамках реализации ФЦП ЯРБ-2, которые, при критическом состоянии, будут способны перерабатывать до 1,5 млн м<sup>3</sup> воды ТКВ. Начато создание опытно-промышленной установки очистки воды ТКВ, а также проделан комплекс работ по снижению фильтрации радионуклидов в гидросеть. Сооружены пороги-регуляторы уровня на обводных каналах. Таким образом, можно обоснованно констатировать значительное улучшение обеспечения безопасности ТКВ.

В 2015 году завершилась работа по разработке стратегического мастер-плана решения проблем Теченского каскада водоемов. Он представляет собой комплекс документов, в которых определено видение конечного состояния объекта и определена стратегия работы с ТКВ. Основные решения в них достаточно простые: 1) надо прекратить сброс радиоактивных веществ в ТКВ; 2) внимательно следить за



гидрогеологической ситуацией вокруг водоема; 3) безопасно эксплуатировать гидротехнические сооружения. Мастер-план показывает, что при такой ситуации в течение 20-30 лет вода ТКВ, прежде всего В-11, перестанет быть РАО. В течение ста лет за счет, конечно, естественного распада или также выйдут за рамки РАО.

## 2.2 Основные итоги по обращению с РАО

В нашей стране накоплено 470 млн м<sup>3</sup> жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Это, конечно, прежде всего, объем водных объектов. Так, только в одном ТКВ 360 млн м<sup>3</sup>. На 81 % объектов, связанных с хранением и обращением с ЖРО, были проведены работы, которые позволили перевести в безопасное состояние  $3,2 \cdot 10^{19}$  Бк. В том числе проведена консервация бассейнов, в которых находилось 670 тыс. м<sup>3</sup> ЖРО средней активности.

Если вернуться к объектам, то 18 % – это слабозагрязненные водоемы, по которым не требуются специальные меры. Незатронутыми мероприятиями ФЦП ЯРБ оказалось менее 1 % ЖРО. Наглядное представление работ по ЖРО – на рисунке 12.



Рис. 12 – Работы по ЖРО

## 2.3 Реализация 1-го этапа формирования ЕГС РАО

Завершен первый этап формирования Единой государственной системы обращения с РАО. К основным итогам в первую очередь можно отнести создание нормативной базы. В течение 2011–2012 годов было принято Правительством России 14 постановлений и распоряжений. За это же время до нынешнего года разработано и откорректировано более 14 санитарных норм и правил или федеральных норм и правил. Были утверждены тарифы на захоронение РАО, создан резервный фонд на захоронение РАО, в котором собрано 6,1 млрд руб.

Также, в течение двух лет была проведена первичная регистрация РАО. Ее итоги: пунктов захоронения РАО – 3, пунктов хранения – 809, из них пунктов хранения РАО удаляемых РАО – 567, пунктов хранения особых РАО – 67, МЯВ (особые РАО) – 83, отложенных решений – 89. На каждый из 809 объектов выезжала комиссия. Все это нужно, прежде всего, для того чтобы сформировать свои планы для решения тех проблем, которые не были решены в рамках действующей программы.

К основным достижениям первого этапа можно также отнести разработку схемы территориального планирования размещения ПЗРО, создание и функционирование ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами».

Построена и введена в эксплуатацию первая очередь пункта захоронения твердых РАО на Новоуральском электро-химическом комбинате. В 2016 году начнется создание 2 и 3 очереди пункта захоронения.

### **3 Вывод из эксплуатации ЯРОО**

Вывод из эксплуатации ЯРОО является наиболее сложным разделом ФЦП ЯРБ, так как, если обращение с топливом, обращение с РАО при всех сложностях химического, морфологического состава осуществлялось по некоторому плану, то вывод из эксплуатации, тем более сложных объектов, на момент начала программы практически нигде не осуществлялся. В этом направлении удалось сделать несколько ключевых шагов. Впервые выведен из эксплуатации до состояния «зеленая лужайка» объект химико-металлургического завода в г. Красноярске. Выведен из эксплуатации (ликвидирован) объект АО «ВНИИНМ» – корпус «Б». Несмотря на достаточно большой размер объекта и его расположение внутри густонаселенного района, эта работа на данный момент завершена с соблюдением всех норм и требований безопасности.

Впервые успешно выполнены работы по консервации промышленного уран графитового реактора ЭИ-2 (Рис. 13) на АО «ОДЦ УГР». Более 150 тыс. м<sup>3</sup> подземных технологических помещений подреакторной зоны, вспомогательных помещений заполнено сорбирующими средами. Это полностью законсервированный объект со всеми барьерами безопасности, обоснована его долговременная безопасность. Это наш первый большой результат по таким сложным объектам. В дальнейшем планируется приступить к переводу в безопасное состояние остальных ПУГРов.

Среди других выведенных объектов – исследовательские ядерные установки, промышленные и исследовательские здания и сооружения. Итог работ: ядерные материалы удалены, наземная часть и непроектные хранилища ликвидированы.



*Рис. 13 – ПУГР ЭИ-2 «до» и «после» вывода из эксплуатации*

Работы по выводу из эксплуатации выполняются с превышением плана по количеству объектов (планировалось – 42, ожидается – 53).

### **4 Утилизация АПЛ**

Помимо работы по самой ФЦП ЯРБ, имелся ряд программ, направленных практически на те же самые вопросы, которые решала ФЦП ЯРБ. Это решение экологических проблем в рамках реализации федеральной целевой программы по утилизации АПЛ, с привлечением средств международной помощи. Остановимся на двух

крупных объектах. Первый из которых – это ПТБ «Володарский» (Рис. 14) утилизирован в рамках ФЦП ЯРБ. В настоящее время это контейнер, находящийся в специальном месте хранения (Рис. 15). Иными словами, объект действительно перестал быть опасным. ПТБ «Лепсе» находится в состоянии еще не до конца завершеном, но, тем не менее, это уже блок - упаковка, которая с 2016 года будет проведена в Сайда-Губу (Рис. 16) и приобретет вид тот же самый, что и бывший корабль ПТБ «Володарский».



*Рис. 14 – ПТБ «Володарский»*



*Рис. 15 – Блок упаковка из носового и кормового хранилищ ТРО*



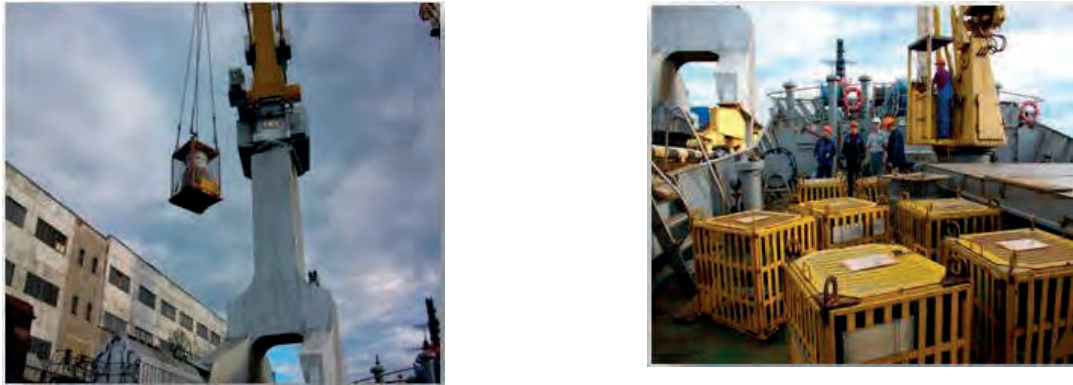
*Рис. 16 – Сайда Губа*

## **5 Утилизация РИТЭГ**

Одна из сложнейших в управленческом смысле мероприятий программ – это снятие с эксплуатации радиоизотопных термоэлектрических генераторов. На данный момент всего вывезено на утилизацию 394 РИТЭГ. Установки военного назначения вывозились в рамках глобального сотрудничества. В рамках ФЦП ЯРБ за счет средств федерального бюджета вывезено 50 РИТЭГ гражданского назначения, а еще по двум работы завершатся в этом году. Это достаточно трудоемкая работа, включавшая обследование межведомственными комиссиями установок для определения их пригодности к транспортированию. Вывоз осуществлялся с объектов навигационного обеспечения с использованием авиации и специально подготовленных гидрографических судов. Четыре РИТЭГа было вывезено из Антарктиды. На рисунке 17 показаны транспортировка РИТЭГ на судно и вывоз РИТЭГ с навигационного знака, а рисунок 18 демонстрирует выгрузку РИТЭГ в специализированном порту.



*Рис. 17 – Транспортировка РИТЭГ на судне и вывоз РИТЭГ с навигационного знака*



*Рис. 18 – Выгрузка РИТЭГ в специализированном порту*

## **6 Разработка ФЦП ЯРБ-2**

Разработана новая ФЦП ЯРБ-2 на 2016–2030 гг. Концепция утверждена Правительством России. Достигнутые итоги реализации ФЦП ЯРБ-1 позволили расширить горизонт следующих программ, планируется пятнадцатилетняя программа с более значительным финансированием. Если первая программа была профинансирована из федерального бюджета в объеме 132 млрд руб., то сейчас это уже 394 млрд руб. Значительно вырастает софинансирование: 166 млрд руб. из иных источников, на 99 % это средства ГК «Росатом».

Программа предусматривает достижение ряда важнейших показателей по переработке и вывозу ОЯТ, переработке и захоронению РАО, выводу из эксплуатации ЯРОО, реабилитации загрязненных территорий. Практически всё ОЯТ РБМК будет перевезено на сухое хранение, переработано всё дефектное и нестандартное топливо, планируется законсервировать 7 ПУГРов, 176 тыс. м<sup>3</sup> РАО будут захоронены, будут вывезены 83 тыс. ОТВС. Планируется реабилитация 4,3 млн м<sup>2</sup> загрязненных территорий. В течение ближайших десяти лет будет завершено создание ЕГС РАО.

Есть все основания для того, чтобы утверждать, что в результате реализации ФЦП ЯРБ-1 кризис в сфере проблем ядерного наследия преодолен, процесс создания систем по завершающим стадиям жизненного цикла запущен, а будущая программа обеспечит системное решение проблем наследия и стабильное функционирование систем обращения с ОЯТ, РАО и вывода из эксплуатации.

Таким образом, к 2030 году планируется решить не менее половины накопленных проблем.

## НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ФЦП ЯРБ 2008-2015 ГГ.

чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Л. А. Большов  
директор  
*ИБРАЭ РАН, г. Москва*



Принципиальной особенностью обеспечения ядерной и радиационной безопасности является обязательность очень глубокой научной подосновы даже для кажущихся простыми технологических решений.

С начала использования ядерной техники граничные условия рассмотрения безопасности ядерных технологий постоянно изменялись, главным образом в сторону расширения. В 1940 годы требовалось запустить первый ядерный реактор Ф-1, а затем еще целый ряд экспериментальных и промышленных установок, чтобы они работали. В 1950 годы надо было обеспечить безопасность сотен и тысяч работников. Это был период становления основ радиационной безопасности персонала, а затем и режима нераспространения и создания МАГАТЭ. Безопасность населения вошла в повестку дня в 1960 годы, а в 1970 годы – охрана окружающей среды. Три-Майл-Айленд и Чернобыль привлекли особое внимание к изучению тяжелых аварий на АЭС и их последствиям. Затем десятилетие идей экологии и устойчивого развития. Сентябрь 2001 года – это тема терроризма и нераспространения, а весна 2011 – опять тяжелая авария на АЭС. События последнего времени свидетельствуют о том, что:

- рамки и граничные условия рассмотрения вопросов безопасности ядерных технологий стабилизировались;
- окончательно решить задачу обеспечения безопасности ядерных технологий на глобальном уровне и в полном объеме не удалось;
- не удалось минимизировать масштабирование социально-экономических последствий при тяжелых авариях;
- вопросы обеспечения ядерной и радиационной безопасности объектов наследия чрезвычайно актуальны и сложны, а их решение требует больших финансовых и временных ресурсов.

Основной ориентир федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» (Программа) – собственно объекты ядерного наследия и инфраструктурные пробелы завершающих стадий жизненного цикла. С началом реализации ФЦП ЯРБ появились средства и возможности подключения к работам огромных производственных коллективов, коллективов ученых и специалистов штаба отрасли, ГК «Росатом». У этой Программы ряд очевидных успехов, что не мешает нам выделить и рассмотреть несколько главных. Среди успехов Программы есть результаты мирового класса, которые можно пересчитать на пальцах одной руки. Выделим из них следующие:

1. Сухое хранилище ХОТ-2 на ФГУП «ГХК» начало принимать со станций топливо, которое там длительное время хранилось.

2. Теченский каскад водоемов (ТКВ). Все мы помним, какие волнения были – десять лет тому назад. Это проблема уже переведена в безопасное состояние.
3. Вывод из эксплуатации промышленного реактора ЭИ-2 на АО «ОДЦ УГР» по варианту захоронение на месте. Это огромные массы графита. Проблема графита в мире еще не решена. Что делать с графитом из графитовых реакторов? Наличие федерального закона № 190 «По обращению с радиоактивными отходами» позволило ввести в рассмотрение особые РАО, которые по совокупности требований безопасности, экологии, экономики не надо вытаскивать, как наши украинские коллеги собираются вытаскивать с четвертого блока Чернобыльской АЭС. Закон сегодня позволяет принимать решения по особым РАО и захоранивать их на месте. Но, естественно, захоранивать безопасным образом. А для того, чтобы захоронить безопасным образом тот же промышленный реактор, нужна очень существенная, серьезная наука.

Описание научной подосновы успехов я начну с основного научного инструментария анализа ядерной и радиационной безопасности. Это, конечно, технологии моделирования, и сегодня можно констатировать уверенный запрос на интегральные и детальные многомерные многомасштабные расчетные коды нового поколения, которые необходимы для:

- Разработки и реализации новых проектов АЭС 2006, ВВЭР ТОИ поколения 3+ (пассивные системы безопасности, устройство локализации расплава, пассивные рекомбинаторы).
- Решения задач в области замыкающих стадий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), включая ядерное наследие.
- Обоснования реакторных технологий с замыканием ЯТЦ на новых физических принципах с использованием новых видов топлива (ФЦП ЯЭТНП).

Остановлюсь на нескольких примерах расчетных кодов нового поколения. Во-первых, это тяжело аварийный код СОКРАТ для водо-водяных реакторов, который давно разрабатывался и во многих ситуациях применялся. Если сразу после завершения разработки первой версии этого кода мы с большим трудом решали задачу внедрения нового инструмента, то сегодня предприятия промышленности спорит друг с другом, кто является правообладателем этого кода, поскольку все новые строительства и в Финляндии, и в других местах требуют детального обоснования безопасности. Напомню, расчетный код СОКРАТ обеспечивает моделирование аварийных процессов от исходного события до выхода активности за пределы защитной оболочки (рис. 1). Тем самым решаются ключевые задачи:

- обоснование водородной безопасности для АЭС;
- обоснование исходных данных для проектирования устройства локализации расплава АЭС-2006;
- обоснование радиационной безопасности.

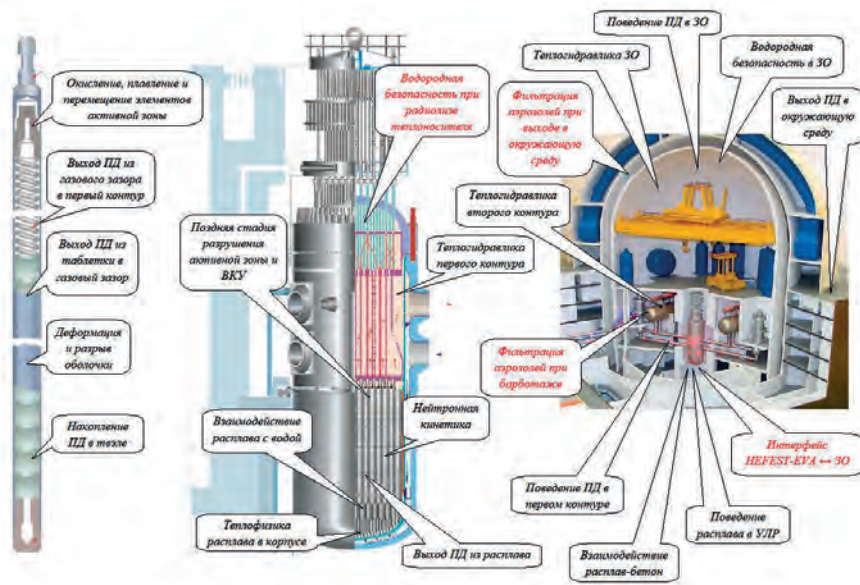


Рис. 1 – Основные исходные процессы

Еще один пример – многомерный расчетный код CONV-3D для прямого численного моделирования процессов тепломассопереноса. Он проходил верификацию с использованием российской и зарубежной экспериментальной базы:

- OECD/NEA бенчмарк Т-образное соединение;
- моделирование результатов изотермического теста ERCOFTAC;
- моделирование эксперимента OECD «MATIS-H»;
- моделирование эксперимента в ИТ СО РАН с блокировкой потока.

Опробован для расчета реактора Феникс (Франция) и будет использован для расчета теплогидравлики активной зоны БН-1200.

Подобные сравнения позволили сопоставить наши компетенции с компетенциями ведущих американских лабораторий и выяснить, что идем вровень, а где-то обгоняем.

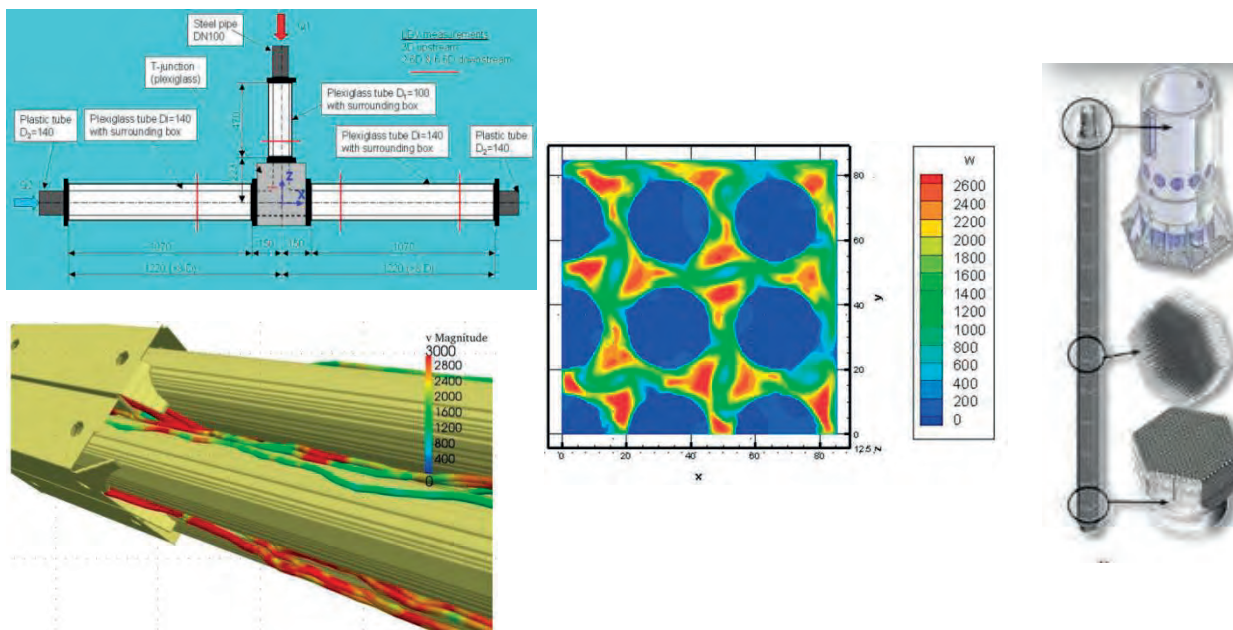


Рис. 2 – Оптимизация характеристик активной зоны

Водородная безопасность. Авария на АЭС Фукусима усилила акцент на этой проблеме. При всех условиях развития аварии необходимо находиться вне областей детонации водородно-воздушной смеси. Для этого необходимо решить задачи оценки источников, оценки распределения и возможности стратификации водорода; анализа влияния мер по управлению аварией, в том числе системы отвода тепла, пассивных автокаталитических рекомбинаторов, спринклерных систем.

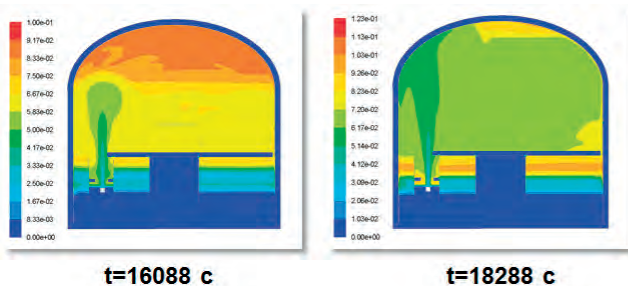


Рис. 3 – Стратификация в аппаратном зале при выходе основной массы водорода

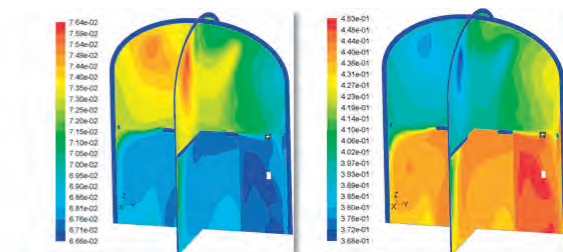


Рис. 4 – Распределение водорода и пара: 1360 с

Начиная с Чернобыля, стало понятно, что нужно развивать системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования. Нужно создавать программные комплексы, которые описывают распространение радиоактивных загрязнений в ближней зоне, в дальней зоне, в атмосфере, во внутренних водоемах, во внешних водоемах. Сегодня, в ходе Программы создано 11 таких больших программных комплексов с трехмерными моделями по оценке последствий радиационных аварий, в том числе в условиях сложной промышленной застройки. Уже накоплен опыт эксплуатации на целом ряде предприятий Госкорпорации «Росатом»: ФГУП «СКЦ Росатома»; ФГУП АТЦ СПб; ФГУП «ГХК»; АО «ГСПИ»; АО «ЭХЗ»; АО «СХК». Более подробно об этом – в докладе Р. В. Арутюняна.

Авария на АЭС Фукусима-1 показала, что с одной стороны есть вопросы к атомной энергетике отдельных стран, а с другой стороны, что после Чернобыля в России была проведена огромная работа и мы, я имею в виду все атомное сообщество России во главе с руководством ГК «Росатом», оказались готовы к анализу аварии, которая произошла за много тысяч километров, аварии с кипящим реактором, конструкция которого заранее не изучалась. Более того, в этой острой и быстро развивающейся ситуации анализ и прогнозы были выполнены более чем оперативно. В таблице 1 и на рисунке 5 приведено прогнозное, рассчитанное нами время взрыва и его фактическое время. Предсказания достаточно точные и по количеству выброса и по его распространению по территории Японии и по последствиям для Дальнего Востока России. В последующем прогнозы были подтверждены и наземными и воздушными измерениями.

Таблица 1 – Оценочное и фактическое время взрыва водорода на АЭС Фукусима-1

№ блока	Расчетное время взрыва	Фактическое время взрыва
Блок 1	12.03 15:16	12.03 15:36
Блок 2	15.03 05:45	15.03 06:14



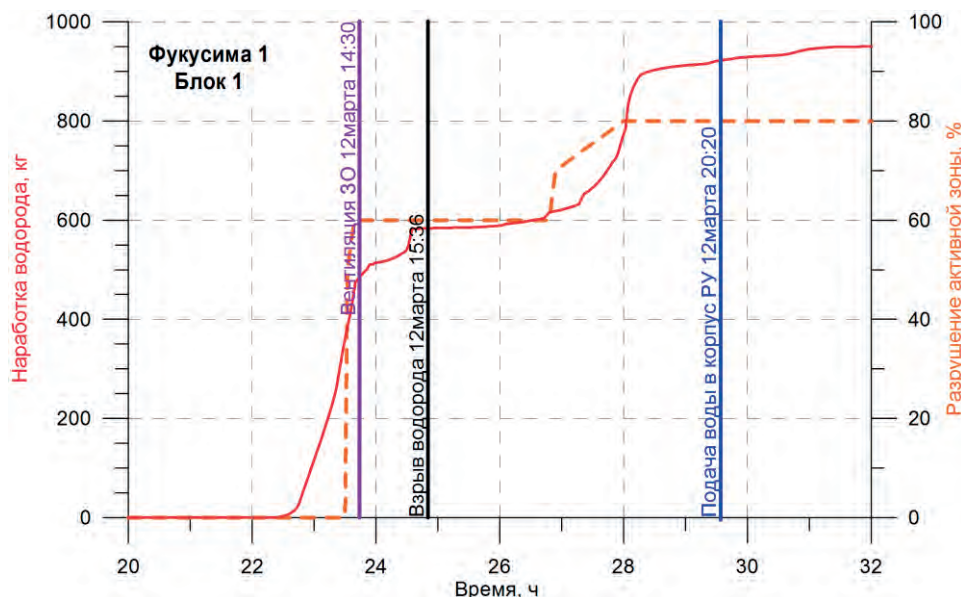


Рис. 5 – Оценка времени взрыва водорода на АЭС Фукусима-1

Менее чем за сутки:

- подготовлены исходные данные для реакторной установки энергоблока 1 (BWR);
- оценены времена и количество образовавшегося водорода и дан прогноз по динамике развития аварии;
- оценены выходы продуктов деления;
- подготовлены исходные данные и выполнено моделирование атмосферного переноса.

Уже первый вывод, который для России был наиболее существенным, по благоприятному прогнозу по Дальнему Востоку, был принципиально важен, поскольку очень быстро формировались условия полной дестабилизации социально-экономической обстановки в регионе. Произошло возбуждение населения, появились очереди в аптеки за йодом и за авиабилетами в центральную часть России. Всё это присутствовало. После того как прогноз был доведен до высшего руководства страны были предприняты меры по разъяснению населению, представлению достоверной информации по измерениям в 600 пунктах наблюдения и проблема за неделю была снята. Это, безусловно, свидетельство того, что готовность существенным образом повысилась. В том числе и готовность к работе с населением на острой фазе. С. В. Кириенко, руководители и специалисты в течение двух месяцев вели активную разъяснительную работу по всем каналам телевидения и в прессе.

В целом, авария на АЭС Фукусима-1 инициировала новые вызовы безопасности, в том числе по конструкции станций:

- обеспечение водородной безопасности, в том числе за счет фильтруемой вентиляции защитной оболочки;
- безопасность АЭС при экстремальных внешних воздействиях, в том числе тех, которые раньше не рассматривались;
- безопасность бассейнов выдержки ОЯТ и в целом концепция его длительного мокрого хранения;
- возможность действия персонала в экстремальных ситуациях при длительном обесточивании и аварийных ситуациях одновременно на многих блоках.

Все эти проблемы были осознаны, взяты в работу, и по ним сейчас идет интенсивная работа в Госкорпорации «Росатом» и её организациях при поддержке со стороны науки.

Возвращаясь к объектам наследия, хочу отметить, что в развитии научных основ Программа сыграла очень существенную роль, причем двоякую. Прежде всего, это конечно устойчивое финансирование в сфере НИР и НИОКР по радиационной защите и радиационной безопасности. Только оно позволяет инвестировать в человеческий капитал, растить научную молодежь, создавать новые лаборатории и тем самым воспроизводить научный потенциал. С другой стороны, это постановка новых научно-технических задач с широким охватом типов объектов, процессов, включая уникальные объекты с очень длительными временами потенциальной опасности. Вот пример вывода из эксплуатации ПУГР. На рис. 6 представлен обзор расчетных средств и моделей, которые были применены при обосновании захоронения на месте. Это и детализированные расчетные модели самих объектов, актуализированные по их реальному состоянию. Это установление параметров реальных параметров барьеров и конструкций, представление результатов измерения характеристик материалов. Во второй сверху линии это характеристики вмещающей среды. Они также важны, поскольку речь идет о больших временах, обязательности учета структуры грунтов, водоносных горизонтов. На следующем уровне – установление радиационных характеристик источников излучения. И только после этого начало полноценного многовариантного моделирования для выработки концептуальных, а затем и проектных решений по выводу из эксплуатации и их оптимизация.

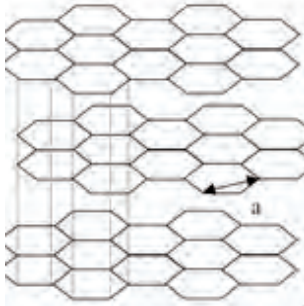
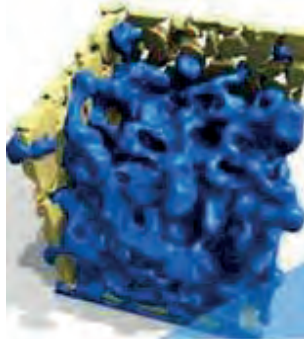

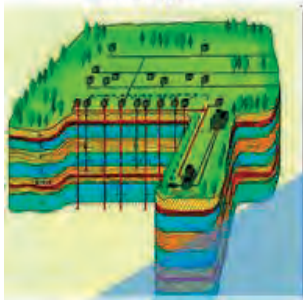


Рис. 6 – Расчетные средства и модели для обоснования ВЭ

О моделировании. В настоящее время можно утверждать, что основные мировые тенденции в развитии расчетных кодов для оценки безопасности объектов на завершающих стадиях их жизненного цикла полностью идентифицированы. К ним в первую очередь следует отнести:

- Мультифизичность: переход от моделей отдельных процессов к физически обоснованному моделированию установки в целом. При этом делается попытка учесть все значимые для безопасности объекта процессы и их взаимовлияние. В задачах обоснования безопасности захоронений РАО расчетные коды помимо сложных фильтрационных и миграционных моделей получают возможности моделирования тепловых, геохимических и биологических процессов, плотностной и тепловой конвекции, взаимодействия с поверхностной гидрологической сетью и др.
- Многомасштабность (табл. 2): использование моделей более мелкого масштаба для параметризации крупномасштабных моделей, уход от феноменологического описания мелкомасштабных процессов к физически обоснованным моделям. На рисунке показан пример многомасштабного подхода в моделировании распространения радионуклидного загрязнения подземными водами. На наномасштабе определяющими являются процессы химического взаимодействия, их моделирование позволяет параметризовать сорбционные процессы в моделях более крупного масштаба. На микромасштабе могут быть обоснованы фильтрационные и миграционные параметры сред, которые после ремасштабирования будут использованы при переходе к моделированию геологической среды как статистически однородного континуума с осредненными характеристиками. На мезомасштабе моделируются процессы в ближней зоне захоронения, к примеру, в окрестности скважин, нагнетающих жидкие радиоактивные отходы, либо в матрицах, контейнерах и инженерных барьерах безопасности. На макромасштабе выполняется моделирование геофильтрационных и геомиграционных процессов в дальней зоне.
- Многомерность: переход от упрощенных камерных, одномерных и двумерных моделей к полноценным трехмерным постановкам, построение моделей непосредственно по данным из САПР. При этом упрощенные модели могут использоваться в условиях высоких неопределенностей, где точность, обеспечиваемая многомерными моделями, не дает существенного повышения достоверности результатов. В первую очередь, это оправдано, к примеру, при моделировании сложных многобарьерных систем ближней зоны захоронений РАО.
- Разработка новых численных методов для максимально эффективного использования нового класса вычислительных мощностей: адаптивные неструктурированные сетки и дискретизации на них, параллельные вычислительные алгоритмы. По этому пути идут, например, проекты MODFLOW-USG Геологической службы США, код FEFLOW (DHI WASY GmbH., Германия), код Amanzi, разрабатываемый в рамках проекта ASCEM Министерства энергетики США и др. Эти тенденции учтены и в отечественном расчетном коде GeRa (совместная разработка ИБРАЭ РАН и ИВМ РАН), разработка которого была начата сравнительно недавно, в 2012 году, однако по возможностям моделирования GeRa уже вышел на уровень передовых зарубежных аналогов.

Таблица 2 – Масштабы моделируемых процессов

<p style="text-align: center;"><b>Нано</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Микро</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Мезо</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Макро</b></p> 
<p style="text-align: center;">Механизмы химического взаимодействия веществ</p>	<p style="text-align: center;">Фильтрационные и миграционные параметры среды</p>	<p style="text-align: center;">Поведение нуклидов в ближней зоне, осредненные параметры</p>	<p style="text-align: center;">Оценка миграции нуклидов в дальнем поле</p>

В целом, разработки преследуют две основных цели: обеспечение достоверности результатов, с одной стороны, и снижение консерватизма, с другой стороны. Если первое направлено на успешную экспертизу безопасности объекта на всех уровнях, то второе – на экономическую обоснованность и оптимизацию заложенных технологических решений. На рисунке 7 ниже показаны результаты использования мультифизической модели в рамках расчетного кода GeRa. В данном эксперименте по-разному учтены геохимические взаимодействия в системе раствор-порода. Рассчитывалась миграция стронция и его активность в контрольной точке. На графике – активность стронция в контрольной точке в зависимости от времени. Масштаб по вертикальной оси – логарифмический.

Использовано три модели. В консервативном сценарии (это левый ореол и красный график), сорбция стронция не учитывается. Получаются неприемлемо консервативные результаты, слишком быстрая миграция загрязнения. Далее, уходя от консерватизма, в расчетах используется экспериментально полученное значение коэффициента распределения стронция на породе по традиционной методике сорбции из раствора, содержащего только стронций (зеленая линия и правый ореол). При этом коэффициент задержки достаточно высокий, пик активности низок и достигает контрольной точки только примерно через 300 лет. Однако такой расчет не может нас устроить с точки зрения достоверности результатов, поскольку упрощенная модель не учитывает реального химического состава раствора и породы. Переход к мультифизической модели, в данном случае, включение кода PHREEQC для геохимических расчетов, позволяет полноценно учесть химические реакции в системе раствор-порода (в растворе присутствует нитрат натрия). Это синяя кривая и центральный ореол – наиболее обоснованный результат, без избыточного консерватизма.

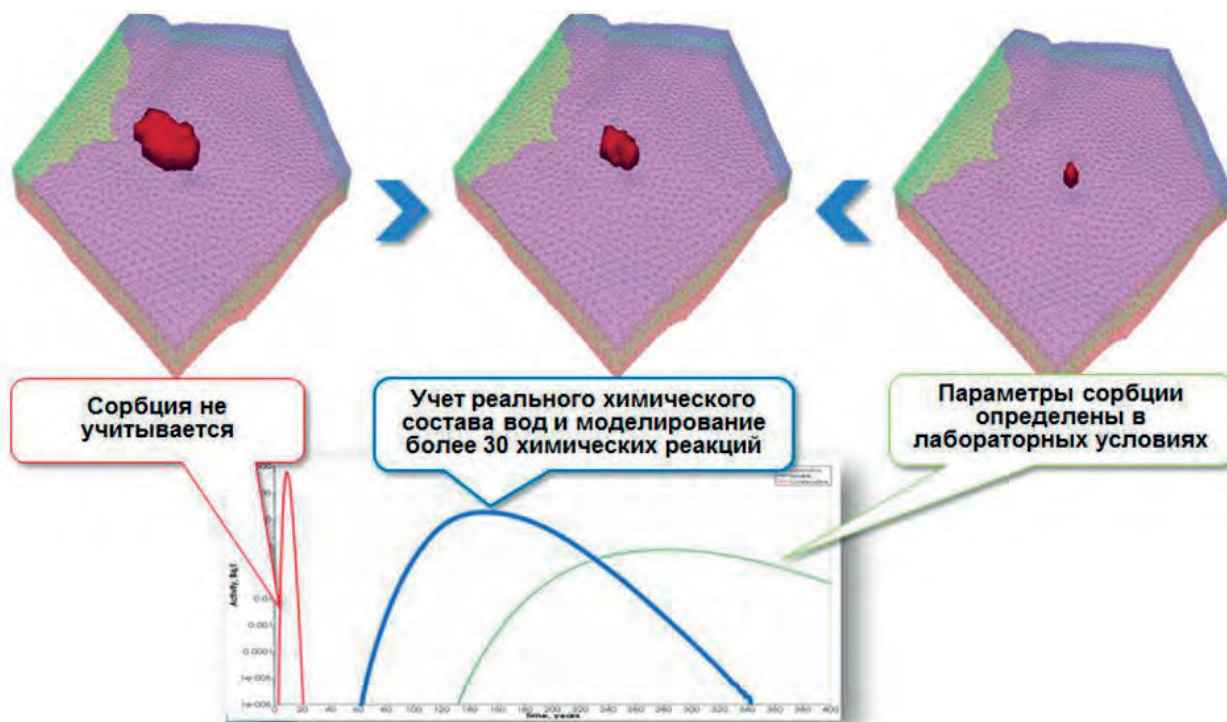


Рис. 7 – Моделирование геомиграции в связке GeRa+PHREEQC

Еще раз о темпах прогресса. На рисунке 8 сравнение нашего отечественного кода GeRa с теми кодами, которые мировое сообщество развивает уже в течение 30 или 40 лет. Начали мы этот код развивать в рамках Программы и видно, что по числу реализованных ключевых функций мы уже сравнялись с большинством из них.

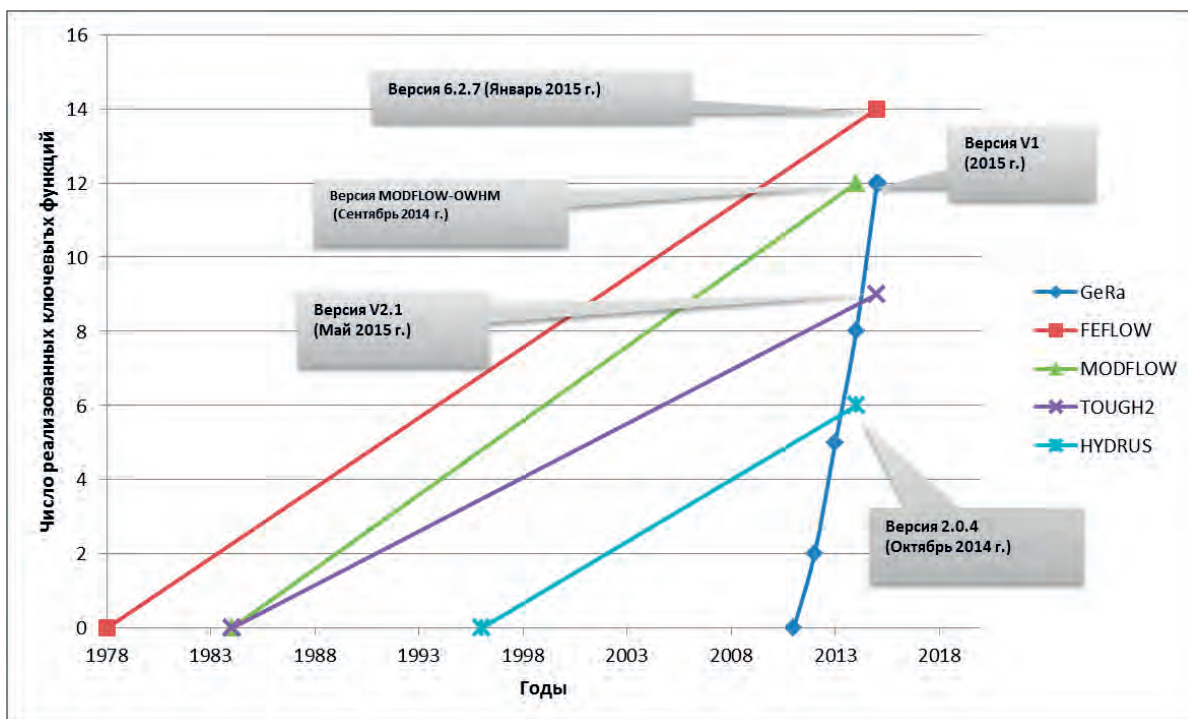


Рис. 8 – Сравнение кода GeRa с зарубежными аналогами

Сравнительно быстрые успехи по первоочередным проблемам обеспечения безопасности объектов ядерного наследия одновременно высветили и широкий пласт задач по ее обоснованию. Речь идет о расчетном инструментарии, по которому к началу

реализации ФЦП ЯРБ фиксировалось существенное отставание от тяжелоаварийных реакторных кодов. В 2008–2015 гг. разрабатывались основные элементы системы расчетных кодов и методологии оценки безопасности для объектов наследия, позволившие принять необходимые решения. В 2016–2025 гг. предстоит завершить разработку полной системы (табл. 3).

Таблица 3 – Дальнейшие задачи развития системы расчетных кодов для «наследия»

Элементы	Практика разработки и применения в 2006–2015 гг.	Фазы развития в 2016–2025 гг.
Источник РАО	Феноменологические уравнения Зарубежные, 1D	Переход к 2–3D
Барьеры безопасности		
Выбросы	Отечественные, 1-3D	Тонкая доводка
Сбросы		Расширение функционала
Дозы		Тонкая доводка
Геология		Расширение функционала
Неопределенности	Отечественные	Расширение функционала
КИРО	Средства и методы инструментального контроля на предприятиях не увязаны с инструментами моделирования	Выстраивание единой системы «измерение-расчет»
Инструментарий методологии оценки и обоснования безопасности	Разработаны основные элементы расчетного инструментария	Необходимость разработки полной системы

Я уже упомянул про возможность относить РАО к особым РАО и про необходимость наряду с радиологическим критерием, использовать еще два: экономический и экологический (рис. 9).



Рис. 9 – Критерии отнесения к особым РАО

Для того чтобы применить в жизни эти новые правила, надо было разработать методологию обоснования отнесения РАО к особым. Такая работа была проделана

достаточно оперативно в 2013 году главным образом благодаря тому, что в рамках одного из небольших мероприятий ФЦП ЯРБ специалистами ведущих научных организаций прорабатывалась тема критериев радиационного воздействия на человека и биоту. Итоги этого многокритериального сравнения (табл. 4) показывают, что и для этого, и еще для более 150 объектов при признании РАО особыми, можно выиграть не только в коллективных дозах рисках, но и в затратах. Во всех случаях отнесение к особым РАО это менее затратный вариант захоронения на месте, который кроме того оказался существенно более безопасным и по дозам во время работы и по потенциальным рискам захороненного объекта.

Таблица 4 – Дозовые нагрузки при реализации различных сценариев ВЭ

Параметр	Удаление РАО	Захоронение на месте
Коллективная доза персонала, чел.-Зв.	145	17
Коллективная доза населения, чел.-Зв.	Менее 0,1	Менее 0,01
Риск потенциального облучения, год <sup>-1</sup>	$2,2 \cdot 10^{-3}$	Менее $1 \cdot 10^{-6}$
Затраты, млрд руб.	Более 1800	3,1

В целом можно констатировать, что в критериях отнесения РАО к особым РАО консолидированы интересы и функции различных регулирующих органов и органов государственного управления в области радиационной безопасности путем установления классификации РАО и критериев в форме коллективной дозы, риска потенциального облучения, возможного размера возможного вреда окружающей среде и затрат за длительный период потенциальной опасности. Это рациональное решение, так как эти параметры прежде не использовались в качестве обязательной основы для принятия стратегических решений, хотя всегда и предполагались принципами радиационной защиты.

Результаты работ по инвентаризации и ранжированию ядерно радиационных и опасных объектов позволяют отслеживать динамику процессов улучшения показателей опасности. На рисунке 10 приведены примеры двух объектов промышленный реактор ЭИ-2 и бассейн-хранилище 354.

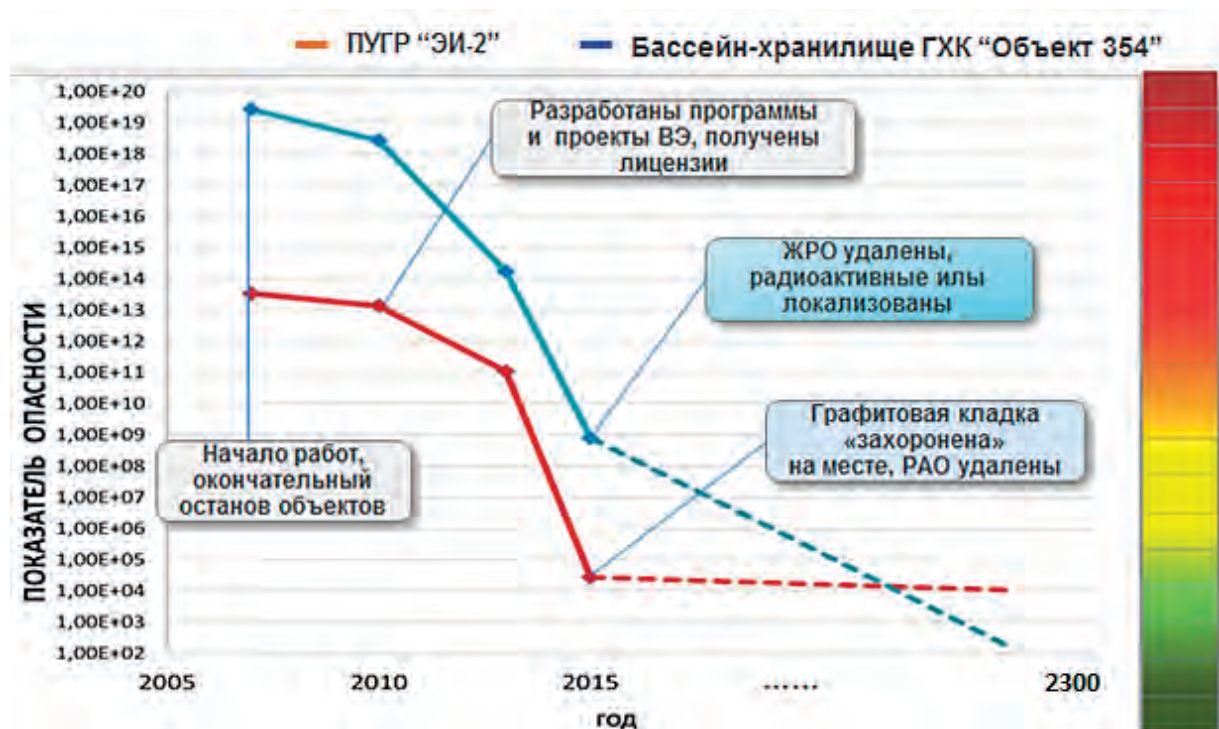


Рис. 10 – Показатель опасности ПУГР ЭИ-2 и бассейна-хранилища 354

Мы видим не только как меняется ситуация во время проведения работ, но и можем предсказать, как она себя будет вести на десятки лет вперед. Сегодня бывший бассейн более опасен – существенно выше активность, барьеры не такие надежные. Но уже через 300 лет ситуация изменится. Графитовая кладка останется такой же опасной, а основная активность бывшего бассейна перестанет существовать.

Переход к долгосрочному стратегическому планированию работ в области ЯРБ. В целом, можно сказать, что масштаб проблем в области обращения с РАО был осознан в полной мере к началу XXI века. Благодаря накопленным отдельным элементам знания, опыта, технологий стал возможен переход к стратегическому планированию работ в области ядерной радиационной безопасности. Одним из первых примеров практической реализации этого подхода стал Комплексный план по экологическим проблемам ФГУП «ПО «Маяк» – предприятия, которое, пожалуй, наиболее отягощено объектами ядерного наследия.

Существенным прорывом в методологии произошел и одновременно важным подтверждением гармонизации отечественных и международных подходов в решении проблем ядерного наследия стала разработка стратегического мастер-плана (СМП) утилизации экологической реабилитации выведенных из эксплуатации объектов атомного флота под руководством академика А. А. Саркисова. Эта работа получила и международное признание и, главное, что проблема была рассмотрена от начального состояния и до «зеленой» или «коричневой» лужайки.

Логическим развитием в реализации накопленного к середине 2000 гг. потенциала стало принятие первой государственной крупномасштабной Программы по ядерному наследия и разработка стратегического плана по объектам РАН.

Ярким примером стратегического планирования стал СМП решения проблем ТКВ (рис. 11), разработка которого завершилась в 2015 году. В результате комплексного рассмотрения, научных технических и нормативных проблем:



- ТКВ получил статус объекта использования атомной энергии, для него обоснована методика расчета допустимых сбросов и впервые для объекта ЯТЦ утверждены соответствующие нормативы.
- Разработаны технологии очистки ЖРО, поступающих и уже находящихся в ТКВ, проведены испытания. Разработано ТЭИ на создание установки очистки воды ТКВ мощностью до 10 млн м<sup>3</sup>/год.
- Разработана долгосрочная программа работ, направленная на скорейшее (в течение 20-30 лет) очищение воды.
- ТКВ перестал быть «черным ящиком». Разработан расчетно-мониторинговый комплекс «ТКВ-Прогноз», позволяющий прогнозировать отклик системы на любые природные и техногенные внешние воздействия и, тем самым, решать стоящие задачи и оценивать перспективные предложения.

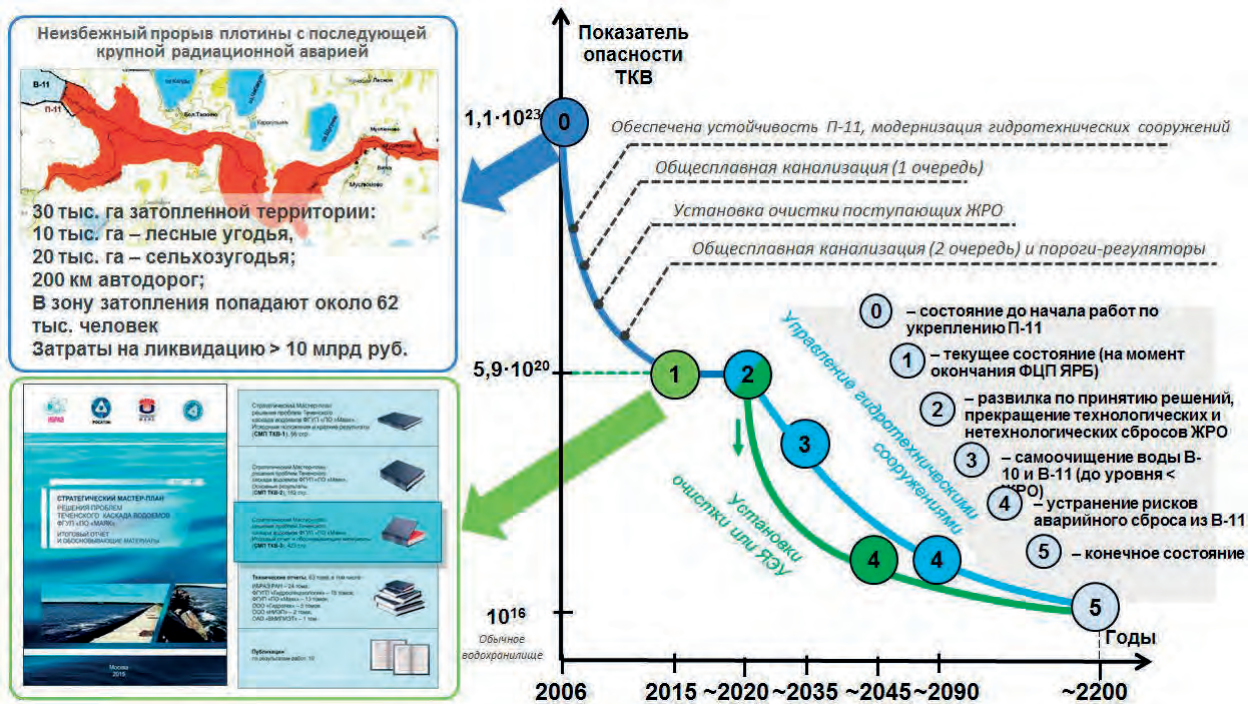


Рис. 11 – Решение проблем ТКВ. Снижение рисков.

Методология перспективна для выработки стратегии по Арктике и в целом по ядерному наследию.

Следует отметить нерешенные еще актуальные задачи стратегического планирования:

1. Наследие в целом.
2. Критично сложные объекты.
3. Региональные экологические проблемы (Арктика и др.).

## Выводы

1. В результате реализации ФЦП ЯРБ научный потенциал в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности получил существенное развитие и позволил решить крупные проблемы:

- обоснована безопасность и безопасно реализовано более ста первоочередных проектов, в том числе уникальных, таких как Карачай, ТКВ, промышленный реактор ЭИ-2, ХОТ-2, ПГЗ ЖРО и др.;
  - освоены новые технологии расчетного сопровождения и обоснования безопасности объектов, работ по выводу из эксплуатации, мониторингу и аварийному реагированию. Спектр наработок начинается с мобильных быстродействующих комплексов и завершается прецизионными программами, а по функциональному назначению от расчета отдельных функционалов до 3D-моделирующих комплексов и тренажеров.
2. В рамках ФЦП ЯРБ-2 предстоит:
    - разработать полную систему кодов для ядерного наследия;
    - обосновать безопасность пункта захоронения геологического типа и конечного состояния всех объектов наследия.
  3. Научные исследования позволяют улучшить экономику при сохранении или повышении безопасности. Основной потенциал в сокращении расходов будущих периодов. Речь идет о сотнях миллиардов рублей, что на порядок больше вложения в науку ЯРБ.
  4. Системный анализ ключевых проблем как основной механизм достижения ЯРБ опирается на инвентаризацию ядерно и радиационно опасных объектов (ЯРОО) и первичную регистрацию РАО. Все критичные по уровню потенциальной опасности объекты включены в ФЦП ЯРБ-2, и наработан технологический опыт ведения работ и реализации СМП.
  5. Создан задел для разработки стратегического плана решения проблем наследия.

В заключение я бы хотел сказать, что в ФЦП ЯРБ научному обеспечению планирования и выполнения мероприятий Программы была отведена важная роль. Наука внесла существенный вклад в успешную реализацию Программы.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЗАМЫКАНИИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА НА ФГУП «ГХК»

д.т.н. П. М. Гаврилов  
генеральный директор  
ФГУП «ГХК», г. Железногорск



На ФГУП «ГХК» создаётся промышленная инфраструктура замкнутого ядерного топливного цикла, способная обеспечить сбалансированное длительное, многократное и безопасное для окружающей среды вовлечение регенерированных топливных компонентов в ядерный топливный цикл.

Ключевая задача при создании замкнутого ядерного топливного цикла (далее – ЗЯТЦ) – качественное, на порядки сокращение прироста объёмов отработавшего ядерного топлива и объёмов твёрдых радиоактивных отходов. Для этого необходимы достаточные мощности по централизованному хранению и переработке ОЯТ и фабрикация «свежего» топлива при условии минимально возможного уровня воздействия на окружающую среду, высокого уровня технологической безопасности и экономической эффективности данных производств.

Соблюдение этих условий при создании крупномасштабных, не имеющих аналогов в мире производств, требует решать сложные научно-технические задачи и создавать принципиально новые технологические процессы, отличающиеся от уже существующих высоким уровнем ядерной, радиационной и экологической безопасности.

Инфраструктура обращения с ОЯТ, создаваемая в настоящее время на ФГУП «ГХК», включает в себя следующие объекты (рис. 1):

- централизованное водоохлаждаемое («мокрое») хранилище ОЯТ;
- централизованное воздухоохлаждаемое («сухое») хранилище ОЯТ;
- опытно-демонстрационный центр по переработке ОЯТ на основе инновационных технологий;
- производство МОКС-топлива для реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, типа БН-800.

### **1 «Мокрое» хранилище ОЯТ реакторных установок ВВЭР-1000**

Данное централизованное хранилище введено в эксплуатацию в 1985 году и уже 30 лет успешно принимает ОЯТ ВВЭР-1000.

В период с 2008 по 2011 годы на «мокрое» хранилище ФГУП «ГХК» в соответствии с проектом, разработанным ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ», выполнены работы по его реконструкции. Основной целью реконструкции хранилища было увеличение уровня безопасности хранения ОТВС ВВЭР-1000 и приведения его в соответствие с действующими нормами и правилами для обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации и ритмичного приёма ОЯТ атомных электростанций.

Эта работа была начата за 3 года до событий на АЭС «Фукусима Дайичи» и к моменту события в результате реконструкции уже были выполнены следующие работы:

- значительно повышена сейсмоустойчивость хранилища: усилен фундамент, усилены строительные конструкции, облегчена кровля;
- произведена замена кранов на новые с увеличением их грузоподъемности и приведения их в соответствие с требованиями действующей нормативной документации;
- увеличена производительность и надежность системы охлаждения.

Выполненная реконструкция не только обеспечила повышение сейсмической устойчивости зданий и оборудования хранилища, но и позволила увеличить емкость хранения на 2600 тонн, и начать работы по продлению срока его эксплуатации. Это позволило обеспечить бесперебойную работу АЭС России, до ввода в эксплуатацию новых мощностей по хранению и переработке ОЯТ реакторных установок ВВЭР-1000.

После проведенной реконструкции, хранилище представляет собой объект использования атомной энергии на современной технологической платформе с высоким уровнем его безопасности.

Для оценки уровня безопасности «мокрого» хранилища отраслевым институтом «ОКБМ Африкантов» выполнен вероятностный анализ безопасности хранилища ОЯТ.

Результаты анализа показали, что значение суммарной вероятности запроектных аварий не превышает  $0,9 \times 10^{-6}$  в год [1]. Такой результат свидетельствует о соответствии уровня безопасности нормативному критерию обеспечения безопасности для объектов использования атомной энергетики. Положительным фактом явилось и то, что в процессе анализа безопасности были разработаны эффективные меры по управлению запроектными авариями «мокрого» хранилища такие как орошение водой ОТВС аварийных отсеков, надёжное охлаждение неаварийных отсеков бассейна, надёжная работа штатной вентиляции.

В настоящее время, с целью управления запроектной аварией, связанной с обезвоживанием отсеков хранения, идёт реализация проекта системы орошения отсеков водой на основе пассивного принципа обеспечения безопасности, и системы дополнительных аварийных резервуаров, обеспечивающих, в случае потери электроснабжения или разгерметизации отсеков хранения, надёжное охлаждение хранящегося ОЯТ.

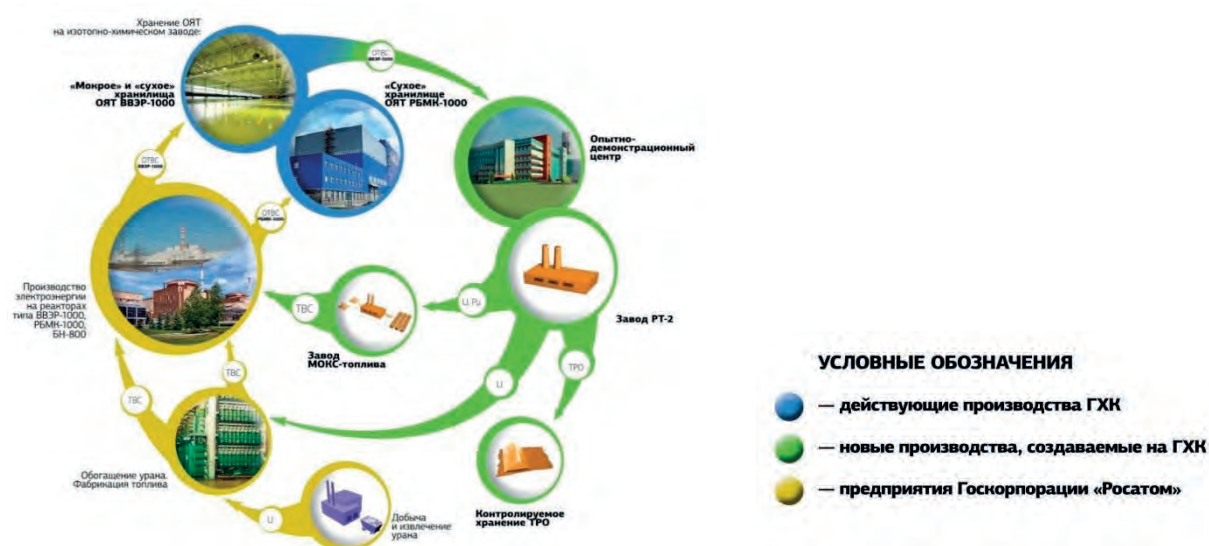


Рис. 1 – Концепция замыкания ядерного топливного цикла на ФГУП «ГХК»

## 2 «Сухое» хранилище ОЯТ реакторных установок РБМК-1000

Первый пусковой комплекс хранилища эксплуатируется с февраля 2012 года и предназначен для приёма, и хранения ОЯТ реакторных установок РБМК-1000 (рис. 2). Проект хранилища был разработан ведущей отраслевой проектной организацией – ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ».

Проект хранилища прошел международную экспертизу в компании SGN (Франция). Предложения, указанные в экспертном заключении были учтены при сооружении объекта.

В настоящий момент хранилище работает в штатном режиме, принимая на хранение ОЯТ реакторных установок РБМК-1000.



*Рис. 2 – Общий вид первого пускового комплекса «сухого» хранилища ОЯТ*

В технологическом процессе используется уникальное оборудование российской разработки, не имеющее аналогов в мире. Все технологические операции, связанные с перемещением ОЯТ, выполняются в автоматическом режиме с использованием технического зрения, что позволяет значительно снизить радиационную нагрузку на персонал.

Технология «сухого» хранения ОЯТ, примененная на хранилище, основана на пассивном принципе обеспечения безопасности и в случае потери источников энергоснабжения будут сохранены все условия безопасного хранения ОЯТ за счет естественной конвекции охлаждающего потока воздуха. Все технологические операции при постановке на хранение и при хранении ОЯТ полностью автоматизированы, что исключает влияние ошибок персонала на обеспечение безопасности хранения ОЯТ.

При проектировании хранилища был проведен большой объем подтверждающих экспериментальных и расчетных исследований, сконструированы специальные стенды, позволяющие имитировать тепловые процессы и движение воздуха в контуре естественной циркуляции [2].

В настоящее время на предприятии проводится ряд мероприятий, направленных на разработку новых принципов перегрузки ОТВС РБМК-1000, позволяющих значительно усовершенствовать технологический процесс постановки ОЯТ на хранение и в два раза увеличить производительность комплекса.

Увеличение производительности за счёт усовершенствования технологического процесса позволит качественно повысить уровень безопасности при постановке ОЯТ на хранение, за счёт снижения количества технологических операций, а также позволит значительно уменьшить активный период хранилища ОЯТ РБМК-1000 и, соответственно, кратно снизить стоимость услуги хранения ОЯТ. Это позволяет позиционировать централизованное воздухоохлаждаемое хранилище камерного типа как самое безопасное и экономически привлекательное на рынке услуг по хранению ОЯТ, вопреки мнению о дешевизне и безопасности контейнерного хранения ОЯТ.

Нельзя не отметить, что повышение производительности хранилища при постановке ОЯТ на хранение повышает безопасность в целом всей инфраструктуры обращения с ОЯТ, так как способствует скорейшей разгрузке пристанционных хранилищ АЭС. Разгрузка пристанционных хранилищ в значительной степени повышает безопасность АЭС за счет снижения тепловой нагрузки на бассейны выдержки, которые имеют активную систему безопасности хранения ОЯТ (охлаждение циркуляционной водой).

Вторая очередь «сухого» хранилища будет предназначена для хранения ОТВС РБМК-1000, а также ВВЭР-1000 после выдержки его в «мокром» хранилище и будет введена в эксплуатацию в декабре 2015 года (рис. 3). Ёмкость комплекса сухого хранения РБМК-1000 рассчитана из условий приема всего ОЯТ, который образовался и образуется на российских АЭС с соответствующими реакторными установками вплоть до вывода их из эксплуатации.



*Рис. 3 – Общий вид строящегося комплекса централизованного «сухого» хранения ОЯТ*

Проектной организацией ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ» были проведены расчеты на предельную сейсмическую устойчивость строительных конструкций и оборудования «мокрого» и «сухого» хранилищ ОЯТ. Результаты расчётов показали, что при максимально возможном для площадки размещения хранилищ сейсмическом воздействии в 7 баллов по шкале MSK-64 строительные конструкции «мокрого» хранилища сохраняют целостность до 8,0 баллов по шкале MSK-64, а строительные конструкции «сухого» хранилища сохраняют целостность до 9,6 баллов по той же шкале.

Такие уникальные объекты централизованного хранения ОЯТ как «мокрое» и «сухое» хранилища являются основой системы обращения с ОЯТ в России [3].

### **3 Опытнo-демонстрационный центр по переработке ОЯТ на основе инновационных технологий (ОДЦ)**

Ключевая задача ОДЦ – отработка экологически безопасной и при этом экономически эффективной технологии переработки ОЯТ энергетических реакторов для вовлечения регенерированных компонентов в ЯТЦ России. При этом должно быть сведено к минимуму воздействие на окружающую среду и соблюдены все требования, обеспечения ядерной, радиационной и взрывопожаробезопасности. В настоящее время основные технологические решения уже найдены.

ОДЦ будет сооружаться двумя очередями. Первая очередь в объёме исследовательских горячих камер (далее – ИГК) со всей необходимой для их деятельности инфраструктурой будет введена в эксплуатацию в конце 2015 года. Цель: отработка новых технологий по обращению с ОЯТ энергетических реакторов как на тепловых, так и на быстрых нейтронах, и замыкания ядерных топливных циклов.

В рамках работы ИГК будут решаться следующие задачи:

- отработка новейших технологических процессов и операций по переработке высоковыгоревшего ОЯТ реакторов на быстрых и тепловых нейтронах, с получением готовой продукции по требованиям заказчика;
- адаптация новых технологий переработки ОЯТ энергетических реакторов на быстрых и тепловых нейтронах к промышленному применению в условиях строгих требований к обеспечению ядерной и радиационной безопасности, а также в конкурентных условиях мирового рынка обращения с ОЯТ;
- исследование свойств топливных композиций и конструкционных материалов различных видов ОЯТ с целью определения сроков его максимального хранения и технологии дальнейшей переработки;
- разработка технологий фракционирования ВАО, в том числе для дальнейшего извлечения из них радиоизотопов в коммерческих целях.

Вторая очередь в объёме полного развития производительностью 250 тонн ОЯТ/год планируется к вводу в эксплуатацию в 2019 году и будет представлять собой полный комплекс операций от первоначальной разделки ОТВС до получения готовой продукции и получения кондиционированных отверждённых радиоактивных отходов для дальнейшего их захоронения.

Базовой технологией переработки ОЯТ на ОДЦ является технология «упрощённый пурекс», разработанная научным руководителем проекта – АО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина». Данная технология содержит в себе ряд инновационных подходов и технологических процессов, таких как головная операция разделки ОТВС, волоксияция ОЯТ, с отгонкой 99,9 % трития, растворение ОЯТ с получением высококонцентрированных растворов, осветление растворов с использованием высокоскоростных центрифуг и вывод из технологического процесса осадкообразующих элементов, остекловывание ВАО в боросиликатную матрицу.

Такая технологическая схема позволила значительно уменьшить объёмы образующихся твёрдых РАО, а также полностью исключить образование и сброс жидких радиоактивных отходов в окружающую среду, присущих в настоящее время радиохимическим производствам. Это было достигнуто, в том числе и сбалансированным расходом реагентов для целей переработки ОЯТ, что в свою очередь позволит

снизить затраты на переработку ОЯТ в целом и обеспечит конкурентные преимущества по сравнению с действующими радиохимическими заводами.

В целях постоянного мониторинга экономической эффективности опытно-демонстрационного центра уже на стадии реализации проекта, и в дальнейшем на стадии его эксплуатации, используется программный комплекс «ОДЦ», разработанный РФЯЦ-ВНИИТФ, и представляющий собой совокупность программных модулей и графического интерфейса пользователя для динамического моделирования технологий переработки различных типов ОЯТ на ОДЦ ФГУП «ГХК».

Технологическая гибкость, заложенная в базовую технологию ОДЦ, позволит в дальнейшем получать РЕМИКС-топливо для реакторов на тепловых нейтронах, а также и перерабатывать ОЯТ на основе РЕМИКС-топлива, реализуя, таким образом, концепцию замкнутого ядерного топливного цикла.

После отработки технологических режимов на ОДЦ планируется тиражирование данной технологии, а также принципов строительства и компоновки оборудования для наращивания мощностей переработки ОТВС энергетических реакторов, и, следовательно, вовлечения регенерированных ценных компонентов в ядерный топливный цикл и решение проблемы накопления отработавшего ядерного топлива в России.

Поэтапный ввод ОДЦ в эксплуатацию позволит контролировать безопасность производства и минимально возможный уровень воздействия на окружающую среду, а применяемые инновационные технологии позволят одновременно с повышением уровня безопасности снизить затраты на переработку ОЯТ, что обеспечит конкурентные преимущества производства по сравнению с существующими мировыми аналогами.

Тиражирование гибкой и экономически эффективной технологии переработки ОЯТ на площадке ФГУП «ГХК» позволит реализовать несколько «линеек» готовой продукции, ориентированных на конкретного заказчика, которые будут отличаться соблюдением заданных параметров, как по изотопному, так и по химическому составу.

#### **4 Производство МОКС-топлива для реакторов на быстрых нейтронах**

В 2014 году на Горно-химическом комбинате впервые в мировой практике реализован в промышленном масштабе стратегический инвестиционный проект Госкорпорации «Росатом» – «Создание производства МОКС-топлива для топливообеспечения реактора БН-800 на Белоярской АЭС.

Особенность создаваемого производства в том, что всё технологическое оборудование, используемое в технологическом процессе, является нестандартизированным и не имеющим аналогов в мире. Основная сложность, с которой столкнулись разработчики – АО «СвердНИИхиммаш», АО «ЦКБМ» и АО «АТОМПРОЕКТ», создание прецизионного оборудования, которое в силу использования в технологии высокофонового энергетического плутония должно работать в автоматическом режиме, без привычного ручного труда.

При этом, для защиты персонала от ионизирующего излучения всё оборудование помещено в многобарьерные защитные камеры.

Всё производство размещено весьма компактно и в совокупности с высоким уровнем роботизации уже сейчас позволяет говорить о низких эксплуатационных затратах на единицу изготавливаемой продукции. Кроме того, размещение такого производства в горных выработках, являющихся естественным мощным контейнментом, надёжно защищающим от любых угроз внешних природных и техногенных факторов воздействия,



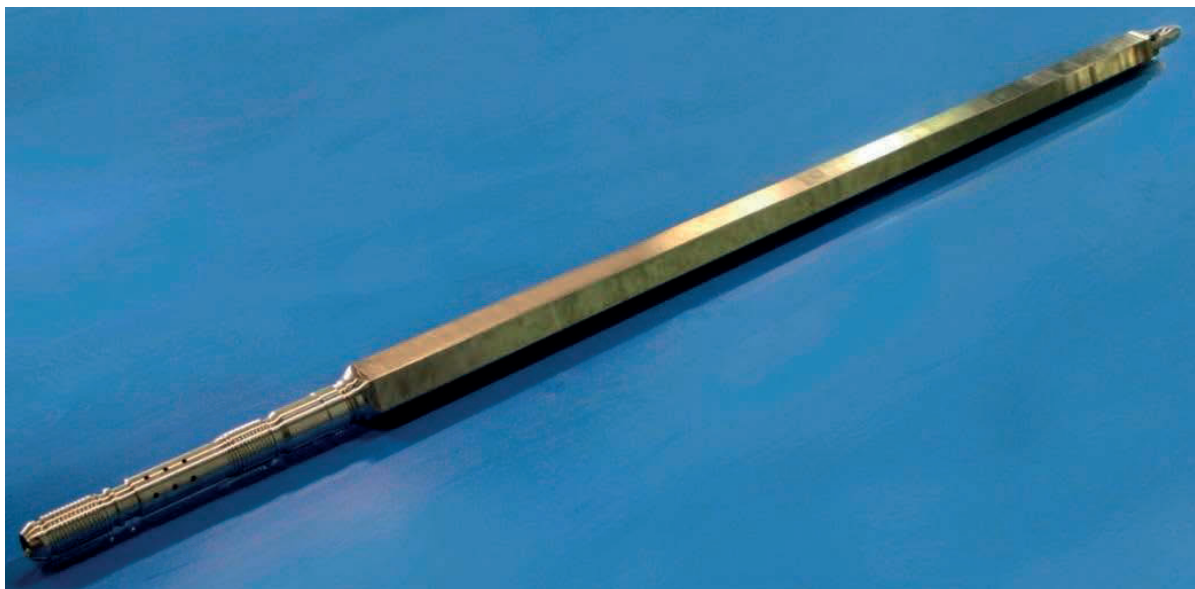
в совокупности с высоким уровнем роботизации позволило достичь беспрецедентных условий технологической и экологической безопасности.

Внедрение производства МОКС-топлива на ФГУП «ГХК» также проходило в несколько этапов. Первоначально, для отработки технологии получения уран-плутониевых топливных таблеток, был создан опытный стенд. В процессе работы стенда было получено более 50 кг уран-плутониевых таблеток, с содержанием плутония до 30% масс., соответствующих техническим требованиям на таблетки МОКС-топлива для РУ БН-800.

Такая этапность позволяет обеспечить безопасность при вводе в эксплуатацию нового, не имеющего мировых аналогов производства.

Это производство первым начнёт промышленное вовлечение потенциала плутония в ядерный топливный цикл России путём замыкания ядерного топливного цикла на основе эксплуатации реактора на быстрых нейтронах БН-800 с МОКС-топливом.

В рамках подготовки к промышленному производству МОКС ТВС и отработки технологического процесса 4 августа 2015 года на ФГУП «ГХК» была выпущена первая ТВС с урановым топливом (рис. 4).



*Рис. 4 – Первая ТВС с урановым топливом, выпущенная на ФГУП «ГХК»*

Таким образом, уже сейчас на площадке ФГУП «ГХК» впервые в мировой практике созданы и создаются промышленные производства замкнутого ядерного топливного цикла. Переработка ОЯТ и замыкание ЯТЦ позволит повысить безопасность обращения с ОЯТ ввиду качественного сокращения объёмов отработавшего ядерного топлива и снижения на порядки объёмов образующихся РАО.

Все эти производства в целях максимальной технологической и экологической безопасности, а также экономической эффективности совместно размещены на одной площадке в едином технологическом комплексе, который может обеспечить топливом атомный энергетический комплекс России, переводя ядерную энергетику в разряд безопасных возобновляемых энерготехнологий.

## Литература

1. Анализ запроектных аварий с обезвоживанием отсеков водоохлаждаемого хранилища ОЯТ и их последствий. Разработка рекомендаций по повышению безопасности водоохлаждаемого хранилища ОЯТ и мер по управлению аварией // Госкорпорация «Росатом», ОАО «Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения имени И.И. Африкантова, Н. Новгород, 2011.

2. *Калинкин В.И., В.Г. Крицкий, А.И. Токаренко и др.* Хранение отработавшего ядерного топлива энергетических реакторов // ОАО «Головной институт «ВНИПИЭТ», СПб, 2009.

3. Программа создания инфраструктуры и обращения с ОЯТ на 2011–2020 годы и на период до 2030 года // Госкорпорация «Росатом», 2011.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТАХ ПО ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ МР И РФТ В НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

О. П. Иванов, В. И. Колядин, А. В. Лемус, В. Д. Музрукова,  
С. Г. Семенов, В. И. Павленко, С. Ю. Фадин, А. В. Чесноков,

А. Д. Шиша

заместитель начальника Управления  
*НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва*



## **Введение**

Жизненный цикл любой ядерной технологии, в первую очередь блоков АС, исследовательских реакторов и других ядерных установок, включает стадии размещения, проектирования, сооружения, эксплуатации и вывода из эксплуатации. При этом решение проблем завершающей стадии жизненного цикла ядерных установок, которая связана с их выводом из эксплуатации, во многом зависит от стадий их проектирования, сооружения и эксплуатации.

При проектировании ядерных установок учет проблем их вывода из эксплуатации может быть частично решен за счет выбора соответствующих конструкционных материалов, обеспечивающих незначительный уровень их активации и поверхностного радиоактивного загрязнения оборудования и конструкций, а также за счет выбора способа компоновки оборудования, облегчающего их демонтаж.

При эксплуатации ядерных установок все источники радиоактивности, как правило, надежно изолируются за счет предусмотренных проектных решений в виде создания различных защитных барьеров безопасности.

Однако вывод из эксплуатации ядерных установок и связанная с этим необходимость проведения демонтажных работ требуют нарушения целостности, частичного или полного разрушения этих барьеров. Поэтому отсутствие принятия соответствующих мер по обеспечению радиационной безопасности при проведении этих работ может привести к превышению дозовых нагрузок на персонал и население, к выходу радиоактивности в окружающую среду, а также создать значительные сложности при обращении с большим количеством образующихся радиоактивных материалов и отходов.

Принимая во внимание особенность расположения в городской черте НИЦ «Курчатовский институт», указанным мерам при выводе из эксплуатации исследовательских реакторов МР мощностью 50 МВт и РФТ мощностью 20 МВт уделялось самое пристальное внимание.

## **1 Особенности проведения работ по выводу из эксплуатации**

Разработанный проект по выводу из эксплуатации реакторов МР и РФТ предусматривает применение технологий и средств технологического оснащения, обеспечивающих безопасность выполнения работ, в том числе радиационную защиту персонала и населения окружающих городских районов.

Выбор демонтажных технологий определялся как требованиями обеспечения радиационной безопасности персонала, так и требованиями обеспечения минимального воздействия проводимых работ на окружающую среду.

Для помещений, в которых расположено незагрязненное оборудование, проведение демонтажных работ не требует применения специализированных технологий и оборудование. Поэтому для проведения демонтажных работ в этих помещениях используются как термические (плазменная, ацетиленокислородная, контактно-дуговая резка), так и механические («холодные») методы резки.

В помещениях, насыщенных загрязненным оборудованием, применяются специализированные технологии, позволяющие, с одной стороны, сократить время работы персонала в условиях высоких радиационных полей и снизить их дозовые нагрузки, с другой, обеспечить минимальное радиационное воздействие проводимых демонтажных работ на население и окружающую среду.

В ходе выполнения работ применяются:

- дистанционные диагностические средства в виде радиометрических, спектрометрических систем и системы идентификации интенсивных источников гамма-излучения (гамма-визор) [1-3];
- дистанционно управляемые механизмы BROKK, операторы которых располагаются на радиационно безопасном расстоянии и управляют этими механизмами, используя мониторы, видеосистемы и перечисленные выше диагностические средства [4, 5], что позволяет уменьшить дозовые нагрузки на персонал в 10-100 раз по сравнению с традиционными методами работы;
- системы пылеподавления, используемые как при подготовке рабочих зон для фиксации радиоактивного загрязнения, так и при проведении демонтажных работ для снижения активности аэрозолей в воздухе и выбросов радиоактивных веществ в атмосферу.

## **2 Основные принципы обеспечения радиационной безопасности при проведении работ по выводу из эксплуатации**

В соответствии с проектом работ по выводу из эксплуатации система радиационного контроля обеспечивала контроль выполнения работ с соблюдением всех нормативов по радиационной безопасности. В частности, стационарная система контроля обеспечивала контроль объемной активности радионуклидов в воздухе помещений; контроль мощности эквивалентной дозы в помещениях и зонах работ обеспечивался использованием пороговых детекторов, оснащенных системами световой и звуковой сигнализации. В зонах работ устанавливались дополнительные пороговые детекторы мощности эквивалентной дозы гамма-излучения. Помимо этого, для предварительного обследования и контроля в ходе работ использовались измерительные системы, включавшие следующие приборные средства:

- радиометрический комплекс радиационной разведки «Гамма-пионер»;
- портативную спектрометрическую систему «Гамма-локатор»;
- портативную гамма-камеру «Гамма-визор»;

Указанные системы позволяли решать широкий набор задач и работать как по отдельности, так и в комплексе для получения наиболее полных данных о радиационной

обстановке, источниках гамма-излучения, радионуклидном составе загрязнения оборудования и поверхностей реабилитируемых помещений реактора.

Для защиты персонала были предусмотрены следующие методы и принципы организации работ:

- постоянный радиационный контроль, включающий индивидуальный контроль дозы внешнего облучения, контроль объемной активности радионуклидов в воздухе, ежегодный контроль внутреннего облучения персонала путем измерения активности гамма-излучающих радионуклидов в теле работников;
- пылеподавление и фиксация радиоактивных загрязнений путем распыления полимерных составов, что на 3-4 порядка снижает дефляцию радиоактивных частиц с поверхностей демонтируемого оборудования;
- поддержание на возможно низком уровне загрязнений поверхностей пола, стен, оборудования путем проведения ежесменной дезактивации помещения с применением моющих средств;
- применение дистанционно управляемых механизмов, оснащенных гидравлическими ножницами, кусачками, режущим инструментом с алмазными проволокой, позволяющих проводить большинство технологических операций дистанционно и применять «холодные» методы резки;
- применение индивидуальных и коллективных средств защиты персонала от воздействия радиационных факторов;
- проведение диагностики радиационного состояния объекта, перед каждым видом работ по демонтажу, фрагментации оборудования и отправке в радиоактивные отходы;
- разработка на каждый вид работ проекта производства работ и пооперационного технологического регламента, в котором определяются обязанности и ответственность исполнителей работ за соблюдение технологии производства работ и обеспечение безопасности.

### **3 Применение дистанционных методов контроля радиационной обстановки**

Демонтаж оборудования в отдельных технологических помещениях реактора МР обычно начинался с радиационного обследования. Радиационное обследование оборудования проводилось с целью уточнения уровней загрязнения оборудования и самих помещений, для выявления и идентификации высокоактивных источников гамма-излучения, а также для оценки дозовых нагрузок на персонал при проведении демонтажных работ.

В связи с достаточно высокими радиационными полями, сложившимися в технологических помещениях, их обследование выполнялось дистанционным образом – с применением комплекса радиационной разведки «Гамма-пионер», установленным на робототехническом механизме БРОКК-90, а также переносных гамма-локатора и гамма-визора. В качестве примера на рис. 1 представлены результаты обследования помещения № 45 петлевой установки ПВК. Полученные данные использовались для оценки суммарной активности радионуклидов в помещении, оценки удельной активности радиоактивных отходов, доз персонала и разработки плана выполнения демонтажных работ.

Демонтаж оборудования выполнялся дистанционно управляемыми механизмами, операторы обычно располагались вне технологического помещения в зонах существенно меньшей мощности эквивалентной дозы и управляли работой по мониторам видеосистемы и средств дистанционной диагностики. Процесс выполнения работ представлен на рис. 2.

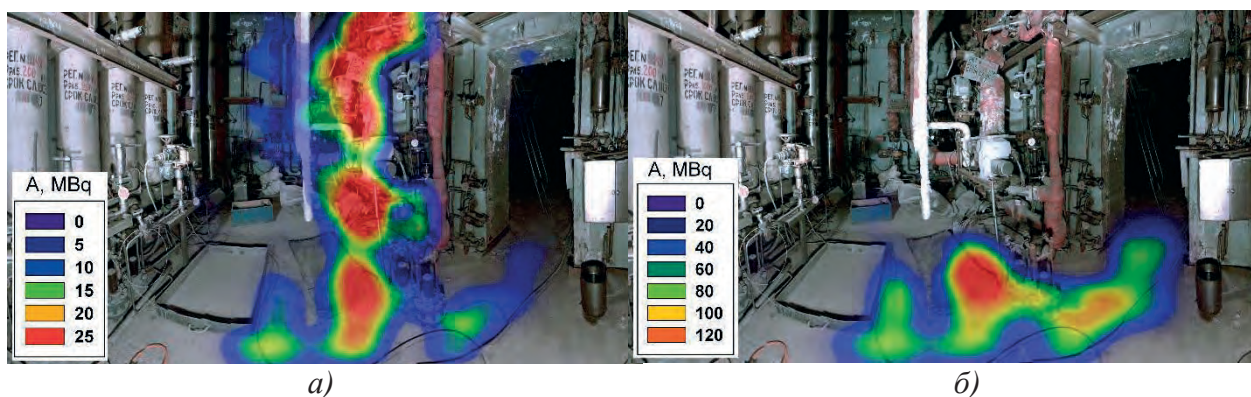


Рис. 1 – Распределение активности Cs-137 (а) и Co-60 (б) в помещении петлевой установки ПВК

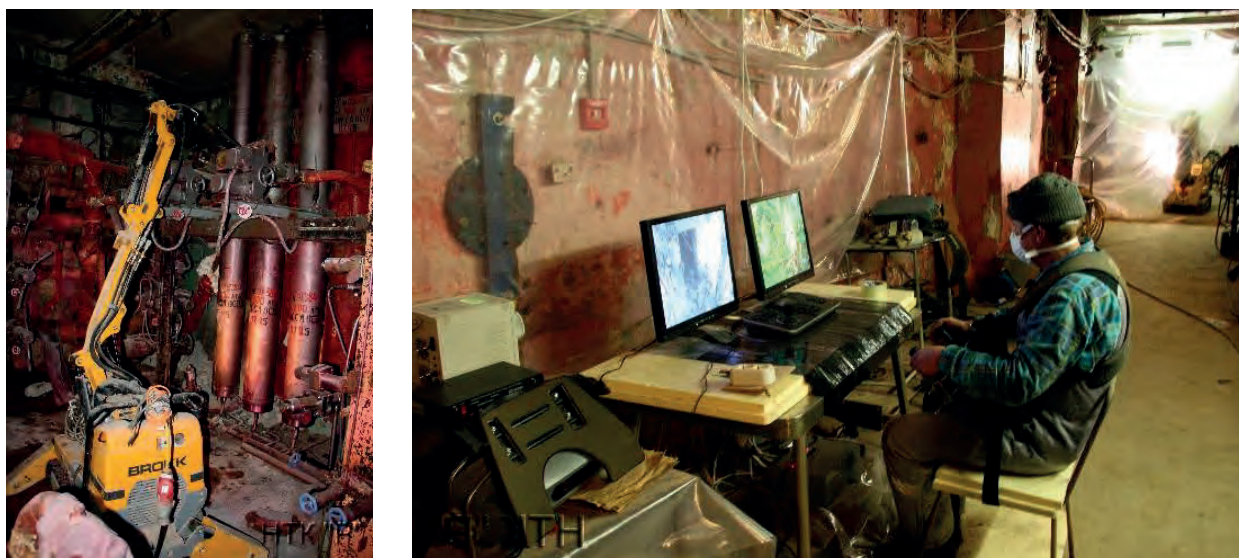


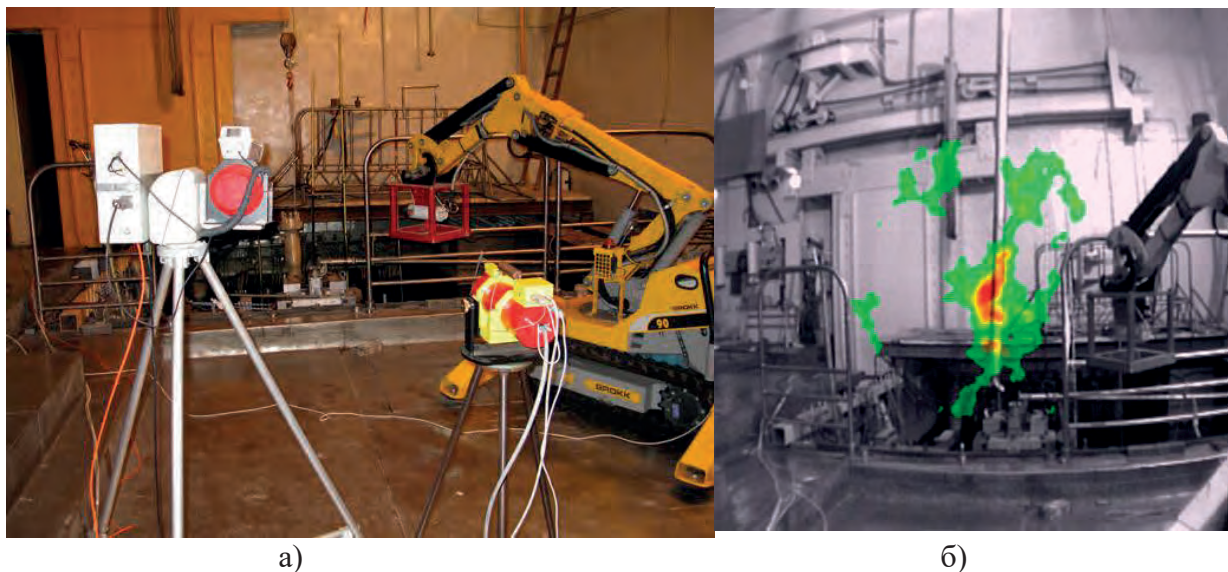
Рис. 2 – Демонтаж оборудования в технологических помещениях петлевых установок реактора МР

#### 4 Обеспечение радиационной безопасности при обращении с высокоактивными отходами

Дистанционно управляемые механизмы были использованы также при обращении с высокоактивными отходами в реакторном зале МР при фрагментации, сортировке и упаковке фрагментов петлевых каналов, размещенных после останова реактора в бассейн-хранилище реакторного зала. Указанные каналы являются длинномерными элементами контурного оборудования реактора и петлевых установок и различаются по конструкции. Часть конструкции этих каналов находилась в активной зоне реактора и подвергалась интенсивному облучению нейтронами, остальная – загрязнению продуктами деления и активации. Эти особенности в значительной мере затрудняли работы по извлечению каналов из бассейна-хранилища, их фрагментации и удалению из центрального зала.

Для идентификации наиболее интенсивно излучающих частей петлевых каналов использовались те же измерительные системы: радиометрический комплекс «Гамма-пионер», дистанционно управляемая спектрометрическая система и портативная гамма-камера «Гамма-визор» [1–3]. На рис. 3 представлено их расположение при проведении измерений и полученные результаты.

Анализ полученных результатов показал, что распределение активности по длине каналов в значительной мере является неравномерным, при этом наиболее высокоактивными являются части их конструкций, которые находились в активной зоне. Основным дозообразующим радионуклидом является  $^{60}\text{Co}$ , однако, в измеренных спектрах некоторых каналов были выявлены и другие радионуклиды, например,  $^{94}\text{Nb}$ .



*Рис. 3 – Процесс измерения распределения активности вдоль петлевого канала (а) и полученные результаты (б)*

На основе полученных данных определялись наиболее оптимальные места их резки для отделения высокоактивных фрагментов от менее активных частей оборудования.

Для резки петлевых каналов и удаления высокоактивных фрагментов была разработана технология, исключая разогрев циркониевых оболочек каналов, в соответствие с которой работы осуществлялись дистанционно под водой робототехническими средствами «Брокк-180» и «Брокк-330», оснащенными необходимым навесным оборудованием. Для этого был создан специальный стенд, заполненный водой и размещенный в реакторном зале.

На специальные подставки в воде устанавливались фрагментируемые каналы, и с помощью гидрорезниц выполнялось отделение высокоактивных частей (рис. 4). Высокоактивные фрагменты размещались в специальные пеналы и удалялись на накопительную площадку высокоактивных отходов Центра, а остальные части упаковывались в бетонные или металлические контейнеры и отправлялись на длительное хранение на ФГУП «Радон».



Рис. 4 – Процесс резки циркониевых каналов под водой

В результате работ извлечено, фрагментировано и упаковано 157 каналов суммарной активностью 34,0 ТБк по  $^{60}\text{Co}$  и 8,0 ТБк по  $^{137}\text{Cs}$ . Средняя индивидуальная доза персонала при выполнении этих операций составила 0,7 мЗв.

По аналогичной технологии выполнялись работы по удалению внутрикорпусных элементов реактора МР. Активная зона и отражатель реактора МР были собраны из 76 шт. бериллиевых, 106 шт. графитовых и 46 шт. алюминиевых блоков. Характерные размеры блоков  $130 \times 130 \times 1000$  мм<sup>3</sup>. Графитовые блоки использовались в составе отражателя реактора, а бериллиевые являлись конструктивными элементами активной зоны. В процессе эксплуатации реактора часть блоков извлекалась из активной зоны и помещалась на выдержку в бассейн-хранилище. Бериллиевые блоки извлекались из реактора МР или из бассейна выдержки, измерялись и далее сортировались. Активность блоков, извлеченных из активной зоны, оказалась в основном в диапазоне от 7,0 до 30,0 ГБк, а мощность эквивалентной дозы на расстоянии 1 м от центра блока составляла от 5 до 20 мЗв/час. Активность по длине блоков распределена не равномерно, максимум излучения приходится на центральные зоны блока [5, 6].

Для бериллиевых блоков было предусмотрено два варианта обращения с ними. От бериллиевых блоков с активностью более  $10^{11}$  Бк, относящихся к высокоактивным отходам, с помощью «ВРОКК-90», оснащенного гидророжницами, отделялось подвесное устройство, а затем он помещался в пенал, размещенный в свинцовом перегрузочном контейнере, и перемещался в хранилище № 7 на территории Центра, где перегружался в свободную ячейку.

Блоки с активностью менее  $10^{11}$  Бк для снижения объема отходов фрагментировали на более мелкие части и загружали в контейнеры НЗК-150-1.5П с дополнительной защитой. Для предотвращения разлета фрагментов при разделке бериллиевый блок размещался в прочный чехол. Размещенный в чехле блок переносился к контейнеру НЗК с бетонным кольцом и вывешивался по центру кольца (рис. 5).





*Рис. 5 – Фрагментация высокоактивных бериллиевых блоков с загрузкой в контейнеры НЗК-150-1.5П*

Фрагментация блока выполнялась в нескольких местах дистанционно управляемым механизмом «BROKK-330» установленными на нем гидророжницами. Фрагменты блока опускались внутрь бетонного кольца, размещенного внутри контейнера. В процессе фрагментации блока постоянно проводилось пылеподавление с использованием агрегата безвоздушного распыления WAGNER и контроль объемной активности воздушной среды в помещении.

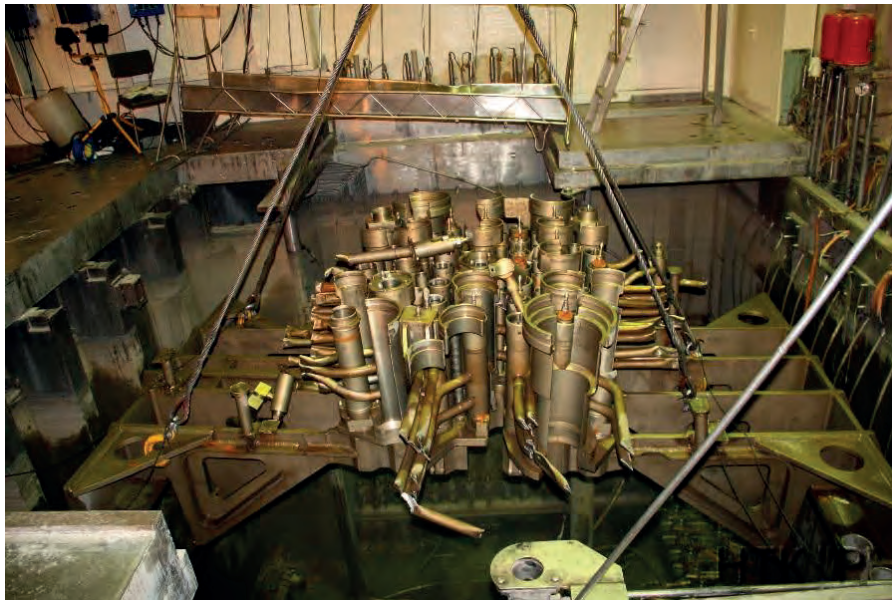
После полной загрузки контейнер закрывался крышкой и транспортировался на участок выходного контроля, где проводились измерения МЭД в контрольных точках на поверхности контейнера, его суммарной и удельной активности и оформлялся паспорт на упаковку. Паспортизованный контейнер транспортировался на площадку временного хранения транспортных контейнеров, загруженных РАО, для отправки в ФГУП «Радон».

В конечном итоге более 210 бериллиевых и графитовых блоков, извлеченных из активной зоны реактора, были загружены в транспортные контейнеры и пеналы:

- около 40 из них помещены в пеналы, загруженные на временное хранение в ячейки хранилища № 7;
- 70 бериллиевых блоков загружены в контейнеры НЗК-150-1.5П с размещением в них дополнительной защиты;
- графитовые и алюминиевые блоки относились к низкоактивным отходам и были упакованы в контейнеры КМЗ или КРАД-3.0.

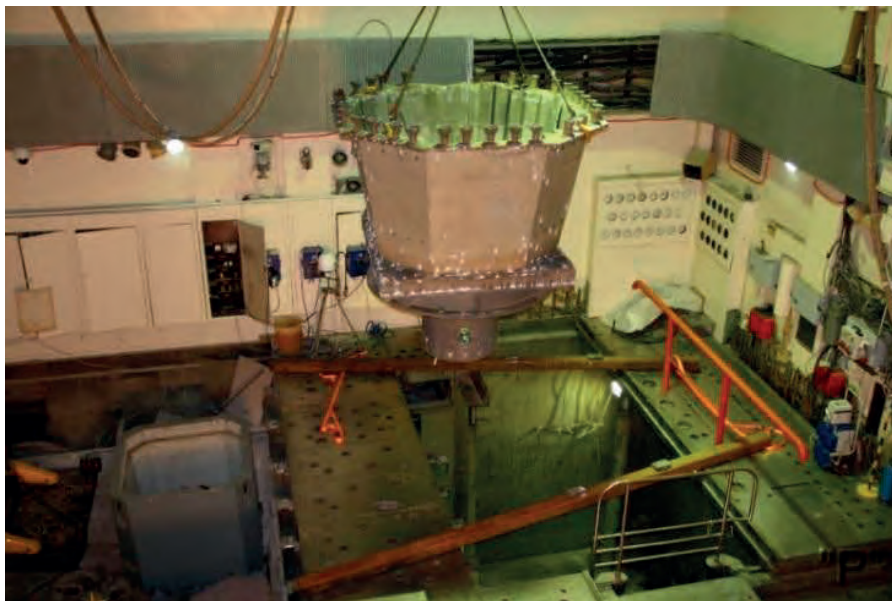
## **6 Удаление высокоактивных конструктивных элементов реактора МР**

После извлечения бериллиевых и графитовых блоков кладки была удалена опорная решетка реактора МР, представляющая собой массивную конструкцию, на которой были смонтированы все основные части реактора (рис. 6). Затем был демонтирован корпус реактора (рис. 7) и нижняя опора.



*Рис. 6 – Удаление опорной решетки реактора МР*

Работы по обращению с радиационно опасными объектами, находившимися в бассейне реактора, осуществлялись со специальной платформы, установленной в месте расположения опорной решетки.



*Рис. 7 – Демонтаж корпуса реактора МР*

Пылеподавление осуществлялось с помощью установки распыления WAGNER, которая устанавливалась таким образом, чтобы направление распыления воды при подцеплении и извлечении краном радиоактивного объекта из бассейна было направлено в воду. После удаления конструктивных элементов была демонтирована и удалена нижняя опора реактора, представляющая массивную конструкцию из нержавеющей стали.

### **7 Демонтаж графитовой кладки реактора РФТ**

В реакторном зале помимо бассейна реактора МР, бассейна выдержки и хранилищ высокоактивных РАО располагались также корпус и графитовая кладка остановленного в 1962 г. реактора РФТ. Конструкционные элементы активной зоны реактора были

забетонированы и накрыты стальными плитами для защиты персонала реактора МР во время его эксплуатации. После удаления основных корпусных конструкций реактора МР весной 2015 г. начались работы по выводу из эксплуатации законсервированного реактора РФТ. С этой целью были демонтированы верхние стальные плиты защиты и удален верхний бетонный слой над графитовой кладкой реактора.

Затем были удалены высокоактивные графитовые блоки реактора. Всего удалено около 30 тонн облученного графита. Блоки упаковывались в бетонные контейнеры НЗК-150-1.5П (рис. 8) и отправлялись на пункт радиометрического контроля, где оформлялся паспорт на упаковку, после чего она размещалась на площадке временного хранения упаковок с РАО до отправки в ФГУП «Радон».



*Рис. 8 – Внешний вид шахты реактора РФТ и бассейна реактора МР после демонтажа внутрикорпусных конструкций*

## **8 Облучение персонала и воздействие на окружающую среду**

Организация работ по выводу из эксплуатации, применение дистанционных методов диагностики радиационной обстановки, дистанционно управляемых механизмов, систем пылеподавления, индивидуальных и коллективных средств защиты персонала, постоянный радиационный контроль способствовали снижению радиационного воздействия на персонал и окружающую среду. У каждого работника ежедневно фиксировалась доза внешнего гамма-излучения. Несмотря на сложную радиационную обстановку в большинстве технологических помещений и большой объем работ, демонтаж всех систем реактора МР и его петлевых установок, а также графитовой кладки реактора РФТ удалось выполнить с соблюдением всех дозовых нормативов для персонала и ограниченным числом сотрудников. Данные по дозам внешнего облучения персонала за годы работ приведены в таблице 1.

В зонах работ контролировалась объемная активность аэрозолей в воздухе. Доза внутреннего облучения персонала измерялась ежегодно на установке СИЧ в специализированной организации. Объемная активность воздуха в рабочих зонах не превышала нормативные значения, максимальная годовая индивидуальная доза внутреннего облучения персонала не превысила 50 мкЗв/год. За время работ по выводу из

эксплуатации на периметре НИЦ «Курчатовский институт» не было зафиксировано ни одного случая превышения контрольных нормативов.

Таблица 1 – Дозы внешнего облучения персонала за годы работ

Год	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Средняя индивидуальная, эквивалентная доза, мЗв/год	1,5	1,5	2,0	1,9	2,7	3,5	3,6
Коллективная эквивалентная доза, чел.-Зв/год	0,084	0,084	0,076	0,065	0,097	0,123	0,129
Количество привлекаемого персонала, чел.	56	56	38	34	36	35	36

## 9 Основные результаты работ

В результате работ по выводу из эксплуатации реакторов МР и РФТ было демонтировано оборудование всех 9 петлевых установок, от оборудования освобождены 47 подвальных помещений. Демонтаж оборудования позволил снизить мощность эквивалентной дозы в помещениях с 5-20 мЗв/ч до 0,01-0,03 мЗв/ч. Выполнен демонтаж внутриреакторных конструкций: удалена основная решетка реактора, представляющая крупный конструкционный элемент, на котором были смонтированы все основные части реактора, удалены бериллиевые блоки реактора (76 бериллиевых блоков) и графитовые блоки отражателя (106 графитовых блоков), демонтирован корпус реактора МР и графитовая кладка реактора РФТ. Всего из шахты реактора РФТ было удалено около 30 тонн облученного графита. Демонтаж оборудования и дезактивация помещений реакторов осуществлялась дистанционно управляемыми механизмами с применением технологий подавления пыли для уменьшения образования радиоактивных аэрозолей в воздухе рабочих помещений, что позволило значительно уменьшить влияние излучения на персонал и окружающую среду.

Низко- и среднеактивные отходы были упакованы в бетонные и металлические контейнеры для передачи их в пункты долговременного хранения. Высокоактивные отходы были упакованы в герметичные пеналы и помещены на выдержку в хранилище высокоактивных отходов Центра. В результате работ по выводу из эксплуатации реакторов МР и РФТ демонтировано и удалено на длительное хранение и переработку более 800 тонн оборудования, в качестве твердых РАО удалено около 1100 куб. м и около 650 куб. м жидких радиоактивных отходов. Всего в рамках всех мероприятий программы с территории НИЦ «Курчатовский институт» удалено более 3000 куб. м ТРО и 5000 куб. м ЖРО. Суммарная активность удаленных отходов достигает 80 ТБк.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *А.Г. Волкович* В материалах Междунар. Конф. «Двадцать пять лет после Чернобыльской аварии – безопасности будущего», Киев, Украина, 2011, т. 2, с. 125-129.
2. *В.Е. Степанов, В.Н. Потапов, С.В. Смирнов, А.С. Данилович* «Радиационное обследование помещений реактора МР с использованием дистанционно- управляемой сканирующей системой». – Атомная энергия, 2012, т.113, вып.2, стр.101-105.
3. *В.Г. Волков, О.П. Иванов, В.И. Колядин и др.* Применение дистанционно управляемых механизмов с целью снижения радиационного воздействия на персонал. – Атомная энергия, 2012, т.113, вып.5, с. 285-289.
4. *О.П. Иванов, В.Е. Степанов, С.В. Смирнов и др.* Дистанционно-управляемые приборные средства для проведения измерений в интенсивных полях гамма-излучений, – Ядерные измерительно-информационные технологии, №2 (38), 2011, стр. 48-50.
5. *V.G. Volkov, Yu. A. Zverkov, O.P. Ivanov, et al.*, Dismantling of loop-type channel equipment of MR reactor in NRC “Kurchatov Institute”. In Proc. of Intern. WM’13 Symposium, Phoenix, AZ, USA, 24-28 of February 2013,13040, CD-ROM, ISBN#978-0-9036186-2-1.
6. *В.Е. Степанов, В.Н. Потапов, С.В. Смирнов, А.С. Данилович* «Радиационное обследование помещений реактора МР с использованием дистанционно- управляемой сканирующей системой». – Атомная энергия, 2012, т.113, вып. 2, стр.101-105.
7. *В.Г. Волков, О.П. Иванов, В.И. Колядин и др.* Методы обращения с высокоактивными отходами при выводе из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ, - Атомная энергия, 2013, т.115, вып.5, стр. 271-275.

## ОСНОВНЫЕ ИТОГИ РАБОТ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РАМКАХ ФЦП ЯРБ

д.т.н. И. И. Линге  
заместитель директора  
*ИБРАЭ РАН, г. Москва*



На протяжении длительного периода существовала и существует некоторая размытость содержания понятий радиационная защита и радиационная безопасность, обусловленная отчасти двойным использованием понятий. Радиационная защита может пониматься как часть ядерной установки, отвечающая за ослабление полей излучений, а может обозначать систему научных положений обеспечивающих минимизацию негативных эффектов действия радиации на человека, отраженную, например, в публикациях МКРЗ. Аналогична ситуация с радиационной безопасностью, которая в одном случае означает совокупность знаний, требований технологий и устройств обеспечивающих возможность безопасного ведения работ в условиях действия радиации, а в более широком смысле – состояние защищенности работника, человека, населения и общества.

В контексте предмета предшествующих конференций под радиационной защитой понималась еще более узкая научная область, а именно физика радиационной защиты. При этом физика радиационной защиты и радиационная безопасность как отрасли науки некоторое время развивались раздельным образом. Физика радиационной защиты обеспечивала проектирование объектов ядерной техники. Ею был пройден путь от простейших экспериментов, аналитических решений, эмпирических формул до создания расчетных комплексов с усложнением моделей, константного обеспечения, анализом чувствительности и верификацией на базовых экспериментах. Многие из прошлых инициатив стали стандартной практикой (аттестация программных средств, верификационный отчет), а существовавшие ограничения вычислительных мощностей радикальным образом преодолены. Научные исследования в сфере радиационной безопасности давали необходимые для практики правила и ограничения, методы и средства обеспечения радиационной безопасности человека.

Оба направления науки обеспечивали прогресс, постепенно, но не полностью, утрачивая право на самостоятельное существование и одновременно разделяясь по иному принципу. Радиационная защита или радиологическая защита – это отрасль науки, а радиационная безопасность – это состояние защищенности человека и иного объекта от радиационного воздействия. Реальное измерение прогресса в науке и практике стало возможно только сейчас, поскольку полноценные свидетельства этого прогресса в части, например, физики радиационной защиты – это не только выход объектов ядерной техники на проектные показатели эксплуатации, но и подтверждение проектных сроков эксплуатации. Последние, в свою очередь, определяются такими параметрами, как радиационная стойкость корпуса реактора или реакторного графита и многих иных параметров. В части радиационной безопасности человека схожая ситуация. Прогресс – это не только снижение доз облучения до определенного предела, а и реальное

подтверждение отсутствия негативных эффектов действия радиации на здоровье человека и объекты живой природы на протяжении нескольких поколений.

Было полностью понятно, что отмеченное обстоятельство отдельного развития не могло сохраняться долго, поскольку расчетным образом определенные характеристики состояния установок на завершающей стадии жизненного цикла, когда то должны были стать предметом деятельности человека. В качестве примера такой работы можно привести издание [1], которое вышло за пятнадцать лет до выдачи первой лицензии на ВЭ энергоблоков российской АЭС.

Реальное развертывание работ по проблемам наследия, начатое в рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и в период до 2015 года» (далее – Программа) обусловило актуализацию решения комплекса задач находящихся одновременно и в сфере радиационной защиты и в сфере радиационной безопасности. Рассмотрим наиболее важные из них.

Прогнозирование доз облучения при удалении РАО, демонтаже объектов, обращении с ОЯТ. Непростые вследствие различного рода неопределенностей, в том числе с константами [2], даже в традиционной логике проектирования расчетные задачи многократно усложняются (рис. 1), поскольку в основе расчетов теперь должны лежать не проектные предположения, а очень большой объем сложных данных, каждому разделу которых присущи неопределенности, обусловленные особенностями проектирования, сооружения и длительной эксплуатации.



Рис. 1 – Актуальные проблемы и задачи радиационной защиты (перенос излучений)

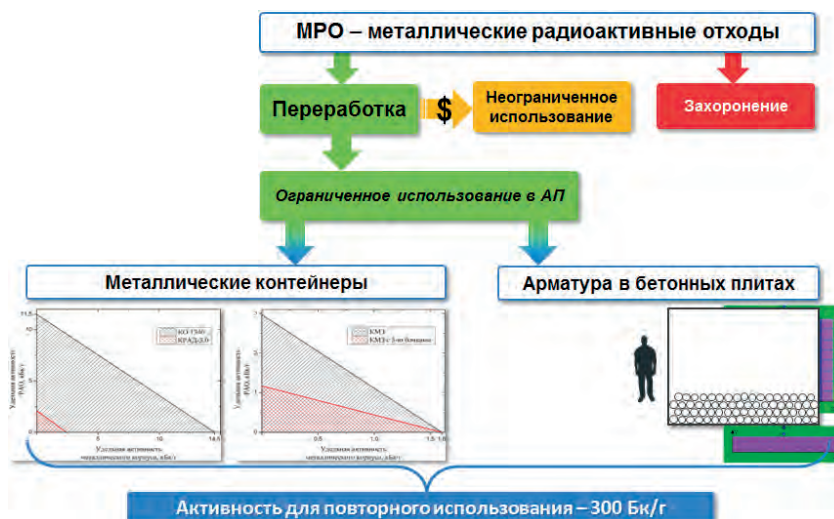


Рис. 2 – Варианты использования загрязненного металла в атомной промышленности

В рамках нескольких мероприятий программы эта тема активно прорабатывалась. Её результатами стали технологии реинжиниринга данных по объекту, новые методы КИРО, ориентированные на привязку данных к САПР-модели объекта, многочисленные конверторы преобразования данных САПР в форматы необходимые для расчетных и аналитических приложений [3]. При этом общий вектор развития методов расчета распространения ионизирующих излучений остается прежним и актуальным как для задач наследия, так и для задач радиационной медицины. Остается место и классическим расчетам с логическими допущениями о радиационных характеристиках объектов и обсчетом максимально широкого круга практических ситуаций, как это было сделано для определения возможности использования загрязненного металла для производства арматуры и контейнеров [4]. Но в целом специфику объектов наследия в контексте методов радиационной защиты как научного инструментария, определяют два обстоятельства:

- Уже упомянутые неопределенности параметров объекта, которые могут быть должным образом определены только в результате итерационного процесса;
- Необходимость рассмотрения нового класса задач, связанных с большими временами и учетом процессов фильтрации и миграции радионуклидов. Это характерно и в случае если объект подвергается так называемой консервации или захоронению на месте, и в случаях, когда он длительное время не был должным образом изолирован.

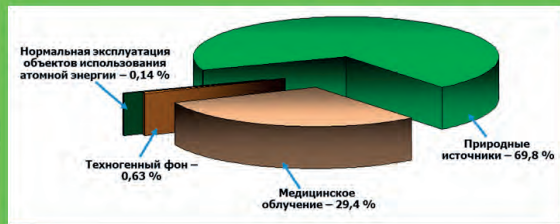
Уровень практического обеспечения радиационной безопасности человека к моменту начала работ по ФЦП ЯРБ характеризовался двумя главными обстоятельствами:

- практически отсутствовали ситуации облучения с превышением установленных пределов доз;
- массово существовали потенциально опасные ситуации, когда объекты находились без необходимых элементов безопасности (защитные барьеры, персонал, система управления безопасностью и т. д.).

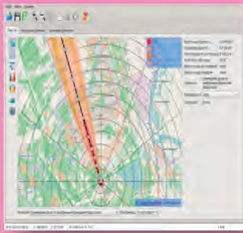


## По состоянию на начало реализации ФЦП ЯРБ:

- практически отсутствовали ситуации облучения с превышением установленных пределов доз



- массово существовали потенциально опасные ситуации, когда объекты находились без необходимых элементов безопасности (защитные барьеры, персонал, система управления безопасностью и т.д.)



ЧС, в том числе при внешнем воздействии с облучением населения и загрязнением территории

Расширение зон загрязнения за пределы установки, промышленной площадки и санитарно-защитной зоны

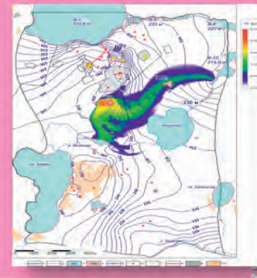


Рис. 3 – Уровень практического обеспечения радиационной безопасности

Потенциально опасные ситуации были характерны и для промышленных площадок крупных предприятий и для научных центров, расположенных в городах, в том числе и в Москве (рис. 4), а ситуация в целом допускала утверждение о том, что без начала работ по наследию мы окажемся в зоне неоправданно высоких рисков. Этот слайд (рис. 5) являлся доминантой раздела «актуальность» доклада Правительству России по вопросу ФЦП ЯРБ в апреле 2007 года. По итогам этого рассмотрения была утверждена концепция Программы, а летом 2007 года и сама Программа.



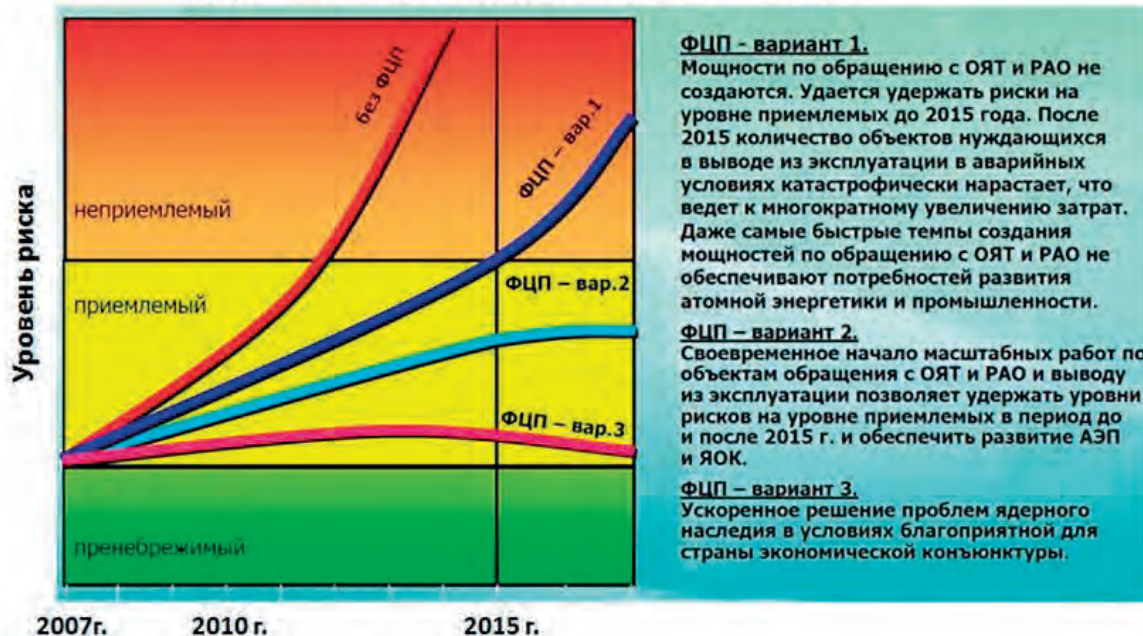
(а)



(б)

Рис. 4 – ЯРОО расположенные в г. Москва (а – корпус Б в АО «ВНИИНМ», б – НИЦ «Курчатовский институт»)

**Современная ситуация: в условиях отложенных решений  
риски при обращении с ОЯТ и РАО при выводе из  
эксплуатации неизбежно возрастают  
ФЦП – это инструмент управления рисками ЯРБ**



*Рис. 5 – Уровень риска для различных вариантов реализации ФЦП ЯРБ*

Уже начало реализации программы убедительно показало, что во многих случаях уровень потенциальных рисков недооценивался, перспективы жизненного цикла объектов рассматривались чересчур оптимистично. Так, например, изначальный план по реконструкции корпуса Б (рис. 4а) был пересмотрен. По итогам этого пересмотра принято решение о необходимости демонтажа здания, объемы финансирования мероприятия были увеличены в 10 раз, а здание полностью демонтировано.

Подводя итоги выполненным в рамках ФЦП ЯРБ работам отметим, что более чем 200 мероприятий ФЦП ЯРБ были посвящены практическим работам по более чем 400 объектам. А в целом с учетом нескольких аналитических мероприятий Программы были рассмотрены аспекты безопасности 2100 объектов. Разбиение практических работ на отдельные подгруппы (табл. 1) достаточно условно, но в целом дает представление об их характере.

*Таблица 1 – Виды работ ФЦП ЯРБ по объектам наследия*

Направление работ в рамках ФЦП ЯРБ	Кол-во объектов
Информационно-аналитические (сводный перечень, инвентаризация, первичная регистрация)	2100, в том числе:
Удаление РАО, дезактивация, реабилитация	140
Реконструкция, модернизация	111
Подготовка к выводу и вывод из эксплуатации	124
Консервация	37

Несколько аналитических работ, предусмотренных ФЦП ЯРБ, было ориентировано на решение задач инвентаризации наследия, то есть составления перечня и выделения приоритетных объектов, по которым должны начаться работы в первую очередь. Эти задачи решены [5, 6], в том числе опробовано несколько методик ранжирования, из которых отобрана для применения одна, предусматривающая оценку комплексного показателя потенциальной опасности (рис. 6).



Рис. 6 – Ранжирование: комплексный показатель потенциальной опасности

В контексте итогов работ по инвентаризации важны и глубоко позитивные несколько констатаций:

- Перечень объектов наследия полон с очень высокой степенью достоверности.
- В подавляющем большинстве объекты наследия сконцентрированы на нескольких площадках. Форму обособленных объектов имеют только объекты МЯВ.
- Массово апробированы методики оценки показателей опасности. По всем наиболее опасным объектам предусмотрены работы по ФЦП ЯРБ-2.
- В большинстве случаев имеются решения по конечному состоянию объектов.

Для того чтобы прийти к выводам относительно изменения фактической опасности (безопасность) объектов, по которым были реализованы мероприятия ФЦП ЯРБ, еще раз обратимся к методике, обратив внимание на её неоригинальность. Подобный подход к определению приоритетных объектов уже был применен в 2004–2007 гг. при разработке стратегического мастер-плана комплексной утилизации АПЛ на Северо-Западе России [7]. Потом он получил развитие для нужд агентства по выводу из эксплуатации Великобритании, а затем последовало еще несколько модификаций для учета отечественных требований [8]. Второй отличительной чертой КП является его ориентация не на текущий момент. Рассмотрим изменение значение КП основного объекта и вторичных отходов на примере емкости с ЖРО (табл. 2).

Таблица 2 – Изменение КП на примере емкости с ЖРО

Шаг	Что сделано	Компонента КП	Значение КП (об.)	Значение КП РАО
1	КИРО	ИНО, ИО	4,0E+19	
2	Программа ведения работ, получена лицензия	ИО, ИНО	2,4E+19	
3	Смонтирована система удаления и переработки ЖРО	ИО, ИНО	2,0E+19	
4	Жидкая фракция удалена и кондиционирована	АС, СП, ИНО	1,5E+15	4,6E+03
5	Отмывка отложений, переработка и кондиционирование РАО	АС, СП, ИНО	1,5E+07	3,8E+04
6	Разделка емкости и кондиционирование РАО	ИО, ИНО, АС, СП	1,8E+06	3,8E+02
7	Удаление загрязнений вследствие прошлых протечек. Завершающее обследование	ИНО, АС	0	3,5E+00
$\Sigma$ КП упаковок с РАО				4,2E+04

Из данных таблицы видно, что даже небольшие подготовительные работы, такие как проведение КИРО или разработка программы работ или получение лицензии находят отражение в значении КП. Насколько оправданно снижение КП, если с самим объектом ничего не произошло. Представляется, что для целей мониторинга работ по наследию – это лучший вариант, который позволяет отследить динамику хода работ в условиях наличия большого количества объектов с различными сроками приемлемого обеспечения целостности барьеров безопасности и ограниченным объемом ресурсов. В этом плане примечательно, что все составляющие коэффициента опасности представлены в 4-й степени. То есть опасность начинает очень быстро расти при нарушении целостности барьеров.

В принципе, подобный подход можно применять и большим совокупностям отдельных равноценных объектов, таких как ОТВС (табл. 3). Способы применение понятия КП в отношении совокупностей различных объектов пока не выработаны.

Таблица 3 – Виды хранения ОТВС

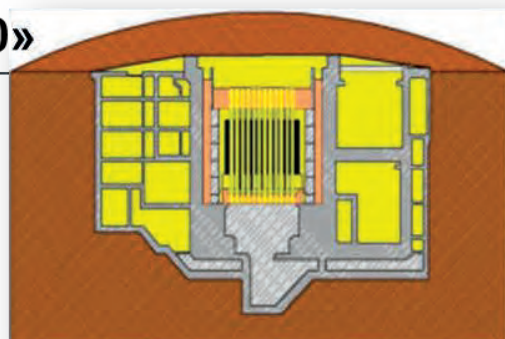
Вид хранения	Мокрое	Сухое
Состояние ОТВС	Все	Герметичные
Среда хранения	Вода	Инертный газ
Доп. барьеры безопасности	-	3
Системы безопасности	3	10
Естественный теплоотвод	Нет	Да

Если же смотреть на отдельные объекты реализации мероприятий ФЦП ЯРБ, то можно увидеть принципиальные изменения уровня опасности. Это ПУГР ЭИ-2 (рис. 7, табл. 4), бывшие поверхностные хранилища ЖРО объект 354, В-9, Б-1, Б-2 (табл. 5).

Таблица 4 – Завершение работ по ВЭ ПУГР ЭИ-2

Ядерная опасность	+/-	Исключена
РАО	все	С высокой способностью к удерживанию р/н
Дополнительные барьеры безопасности	-	Более 100 000 кубометров изолирующих материалов
Контроль	-	Система мониторинга и контроля

**Уровень «0.0»**



**Изоляция графитовой  
кладки**

Рис. 7 – Изоляция графитовой кладки ПУГР ЭИ-2

Таблица 5 – Закрытие водоемов-хранилищ ЖРО

Объект	Описание выполненных работ	КП-2007	КП-2015
Водоем-хранилище 354	Проведена откачка водной фазы, отсыпка бассейна суглинком, засыпка скальным грунтом. Объект законсервирован.	1,0E+21	2,79E+13
Промышленный водоем В-9 (оз. Карачай)	Завершен 1-й этап работ по консервации объекта. Акватория водоема перекрыта скальным грунтом.	1,7E+25	9,1E+20
Водоем-хранилище Б-1	Завершен 1-й этап работ по консервации объекта. Акватория водоема перекрыта грунтом.	6,6E+24	3,0E+21
Бассейн Б-2	Проведено устройство верхнего глиняного экрана с защитой его песчаным грунтом и плодородной почвой. Устроена дренажная система. Объект законсервирован.	4,6E+24	1,60E+17
Бассейн Б-25	Проведено КИРО. Разработан проект по консервации объекта.	5,8E+21	4,7E+20
Пульпохранилище	Проведено КИРО. Разработана технология растворения пульпы. Проведены НИОКР по оптимизации технологии переработки пульпы.	5,8E+21	5,4E+20

Сам переход от экспертно-оценочного, зачастую интуитивного определения уровня потенциальной опасности отдельных объектов к его численной оценке представляется весьма значимым обстоятельством. Еще более эта значимость возрастает, если имеется возможность оценки потенциальной опасности большой совокупности объектов. В процессе инвентаризации ядерно и радиационно опасных объектов был достигнут еще более серьезный результат – было осуществлено ранжирование всех объектов наследия.

Обратим внимание, что значение комплексного показателя потенциальной опасности в определенной мере отличаются от экспертных представлений, в том числе за счет влияния различного рода социально усиливающих факторов. В этом плане интересно сравнение потенциальной опасности двух объектов – В-9 и ТКВ. Для длительного периода времени лидером по проблемности являлся водоем В-9. Однако в начале 2000 годов его место уверенно занял ТКВ, чему во многом способствовали и природные факторы и нормативно-правовые коллизии. В качестве природных факторов выступила региональная водность – уровень воды в водоемах каскада стал быстро расти (рис. 8).



**26 марта 2003 г.**

«Перечень поручений Президента РФ в Уральский Федеральный округ 6 марта 2003 г.» № Пр-516 (п.5. «Разработать комплекс дополнительных мер, направленных на предотвращение угрозы экологической катастрофы на Теченском каскаде водоемов ФГУП «ПО «Маяк»»).

**02 июня 2003 г.**

Комплексный план мероприятий по обеспечению решения экологических проблем, связанных с текущей и прошлой деятельностью ФГУП «ПО «Маяк» (утвержден Министром по атомной энергии).

**16 марта 2006 г.**

Перечень мероприятий по обеспечению ядерной, радиационной и экологической безопасности на 2007 г. (перечень поручений Президента Российской Федерации от 16 марта 2006 г.)

**2008 г. – ФЦП ЯРБ**

*Рис. 8 – Изменение уровня воды в ТКВ*

Уже в 2003 году безопасность ТКВ стала темой специального поручения Президента РФ, а затем и предметом реализации нескольких мероприятий ФЦП ЯРБ. В качестве чрезвычайно усложняющего обстоятельства в этот период стала выступать неопределенность правового статуса водоема, которая полностью исключала возможность рациональной трактовки повышения концентраций стронция-90 в воде р. Теча. Они истолковывались, в том числе в судебных решениях, как сбросы радиоактивных отходов в открытую гидросеть. Тем самым исключалась возможность реализации рациональных подходов к стабилизации уровня воды в каскаде, а именно организации противоаварийного предупредительного сброса.

За истекший период, главным образом в рамках ФЦП ЯРБ, было реализовано несколько крупных мероприятий, которые обеспечили:

- укрепление и дооснащение гидротехнических сооружений, в том числе замыкающей плотины и обводных каналов и наработку технологии улучшения их характеристик;
- улучшение водного баланса водоема за счет сокращения приходной составляющей;
- отработку технологий очистки ЖРО для прекращения сбросов и организованного управления уровнем замыкающего водоема.

Одновременно и также в рамках ФЦП ЯРБ была осуществлена разработка стратегического мастер-плана, в рамках которой была обобщена вся совокупность доступных наблюдений за радиационными, гидрологическим, водно-химическими и погодными характеристиками объекта и площадки его размещения, разработана исчерпывающая совокупность моделей и создан расчетно-прогностический комплекс ТКВ-ПРОГНОЗ, с помощью которого были проанализированы более 60 вариантов реализации нескольких стратегий и выбраны лучшие. Выполненный цикл междисциплинарных исследований по поиску наиболее оптимальных путей безопасного достижения конечного состояния ТКВ, гарантирующего его долгосрочную безопасность, сопровождался проработкой его нормативно-правового статуса (рис. 9). Нормативная закреплённость, наличие выработанной стратегии, равно как и собственно технические мероприятия привели к существенному снижению КП объекта. Справедливости ради

необходимо отметить, что КП В-9 также уменьшился в связи с завершением работ по закрытию акватории.

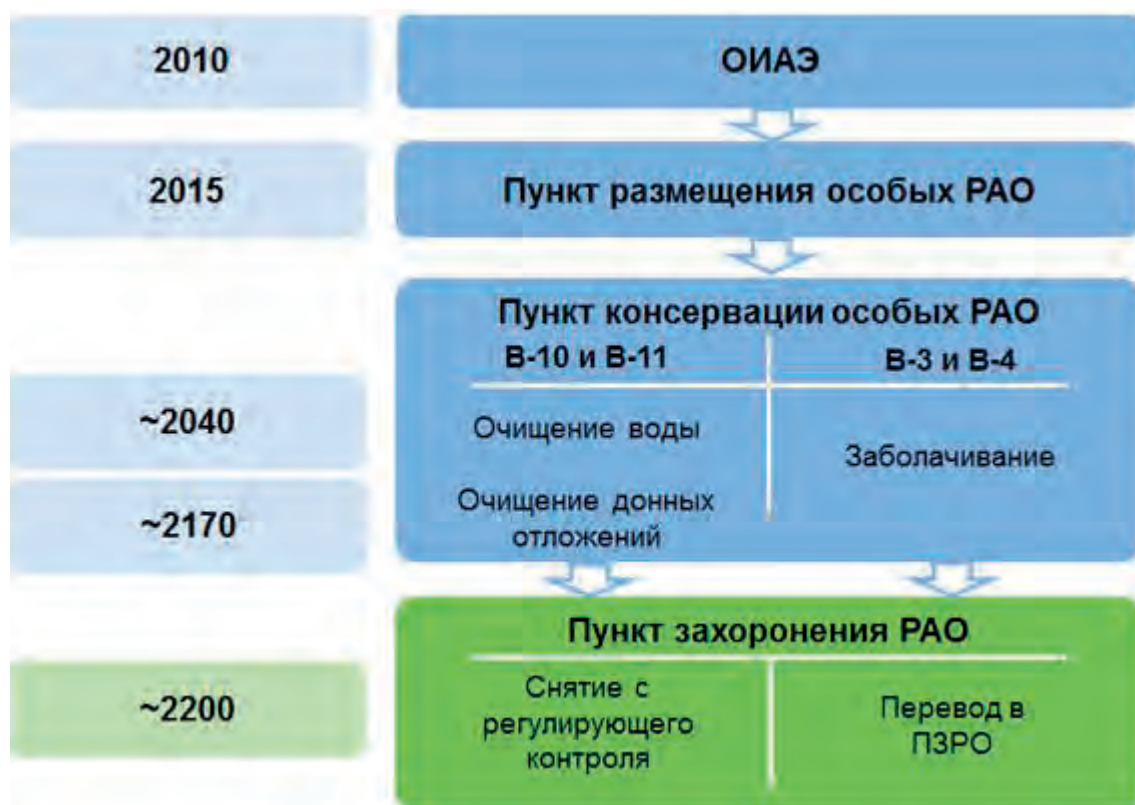


Рис. 9 – Этапы трансформации статуса ТКВ как ОИАЭ

Интересно общее сравнение двух распределений (рис. 10) количества объектов по значению КП – по состоянию на 2007 и 2015 годы. Тенденция более чем очевидна – в результате выполнения работ по мероприятиям ФЦП ЯРБ происходит массовый сдвиг распределений влево – в зону меньших показателей опасности.

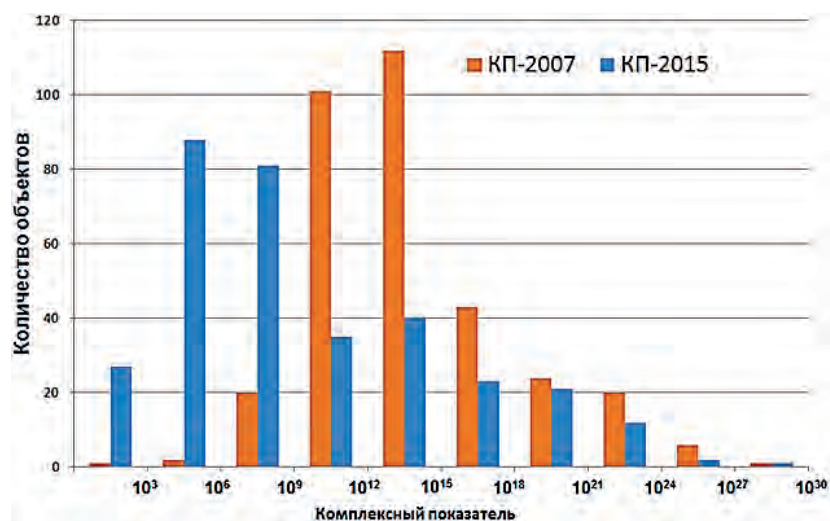


Рис. 10 – Распределение объектов по КП в 2007 и 2015 годах

Как уже отмечалось, не все объекты реализации мероприятий ФЦП ЯРБ остановлены и не эксплуатируются по функциональному назначению. Поэтому по завершению цикла работ по мероприятиям ФЦП ЯРБ будет осуществлено определенное



перераспределение конечной ответственности. В случае сохранения объекта в той или иной форме ответственность останется за эксплуатирующей организацией. Во всех случаях, когда речь идет о наследии, эксплуатирующая организация вправе рассчитывать на помощь государства. На период 2016–2030 годов эти объекты уже определены.

### **Заключение**

1. В результате реализации ФЦП ЯРБ поставленные цели достигнуты. Обеспечено существенное снижение потенциальных рисков по более 400 объектам, в том числе полностью исключен риск более 20 событий с катастрофическими последствиями. Важно также, что необходимость и возможность решения проблем наследия осознаны в организациях.

2. Реализация ФЦП ЯРБ вплотную приблизила к ряду вызовов по принятию решений по захоронению (научно-технических, технологических, социальных). Существует понимание возможностей их разрешения, в том числе обоснования безопасности на сверхдлительные сроки и трудностей на этом пути.

3. Решения по захоронению (консервации) объектов (РАО) очень трудны, но они назрели и необходимы. Для их принятия необходима консолидация научно-технического потенциала органов управления и регулирования безопасности.

### **Литература:**

1. *Енговатов И.А., Машикович В.П., Орлов Ю.В. и др.* Радиационная безопасность при выводе из эксплуатации реакторных установок гражданского и военного назначения. М.: ПАИМС, 1999.

2. *Линге И.И., Митенкова Е.Ф.* Сквозной расчет радиационных характеристик отработавших тепловыделяющих сборок ВВЭР-1000, ж. Физика ядерных реакторов, 2011, № 1.

3. *Блохин П.А., Крючков Д.В., Уткин С.С., Линге И.И.* Программно-технический комплекс обоснования безопасности объектов ядерного наследия. «Инновационные проекты и технологии ядерной энергетики», третья международная научно-техническая конференция: доклады М.: ОАО «НИКИЭТ». 2014. – Т.2. - 251-258 стр.

4. *Блохин П.А., Ванеев Ю.Е., Панченко С.В.* Оценка возможности повторного использования металлических радиоактивных отходов в атомной промышленности. Атомная энергия, т. 117, вып.2, с. 81-85.

5. *Абалкина И.Л., Бирюков Д.В., Ведерникова М.В. и др.* Инвентаризация ядерно и радиационно опасных объектов: ожидаемые результаты и перспективы их использования. Препринт ИБРАЭ № ИВРАЕ-2014-05, 2014.

6. *Большов Л.А., Линге И.И., Абалкина И.Л. и др.* К вопросу оценки объема ядерного наследия в атомной промышленности и на иных объектах мирного использования атомной энергии в России. Ядерная и радиационная безопасность, №3 (73), 2014, с. 1-11.

7. Стратегический мастер-план утилизации выведенного из эксплуатации атомного флота и реабилитации радиационно-опасных объектов обслуживающей инфраструктуры на северо-западе России. Под ред. А.А. Саркисова.

8. *Бирюков Д.В., Ведерникова М.В., Ковальчук Д.В. и др.* Практические потребности развития методологии анализа риска для заключительной стадии жизненного цикла // Радиация и риск. 2015. №2. с. 116-130.

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И ИТОГИ ФЦП ЯРБ

А. А. Хамаза

директор

ФБУ «НТЦ ЯРБ», г. Москва



В развитии отечественной системы государственного регулирования необходимо выделить несколько исторических этапов. Первый ориентирован в основном на безопасную эксплуатацию АЭС. Вторым, связанным с вступлением в силу федерального закона «Об использовании атомной энергии», когда сфера деятельности органа регулирования расширилась на ядерный топливный цикл. На этих этапах основной объем работ был связан с продлением лицензий и сроков эксплуатации. Эпизодически выдавались лицензии на эксплуатацию в режиме окончательного останова. Нормативное регулирование безопасности осуществлялось, как правило, на основе ведомственных отраслевых документов.

Ратификация Объединенной конвенции, принятие ФЦП ЯРБ, изменения правовых форм предприятий атомной отрасли, закон по РАО, меры по усилению государственного регулирования ознаменовали следующий этап развития.

В концепции ФЦП ЯРБ четко выделены ключевые факторы, характеризующие сложившуюся на момент ее утверждения ситуацию в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, в том числе:

- наличие ядерно и радиационно опасных объектов оборонно-промышленного комплекса, не отвечающих современным требованиям ядерной и радиационной безопасности («ядерное наследие»), представляющих угрозу национальной безопасности;
- необходимость решения накопившихся проблем на государственном уровне и недопустимости их дальнейшего откладывания.

С началом практических работ по ФЦП ЯРБ имевшаяся регулирующая основа стала апробироваться на новом пласте задач, а наш НТЦ получил возможность в нормальном рабочем графике работать по нескольким мероприятиям программы, в том числе по заключительным стадиям жизненного цикла и оптимизации системы регулирования. Вот несколько мероприятий ФЦП ЯРБ, по которым мы работали:

- безопасность обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами;
- накопленные проблемы в области ядерной и радиационной безопасности;
- методология оценки состояния радиационной безопасности на радиационно опасных объектах, относящихся к прежней и текущей деятельности;
- методы оценки безопасности для объектов ядерного топливного цикла;
- комплексный анализ для оценки безопасности ядерно и радиационно опасных объектов.

Основными целями данных мероприятий были:

- создание нормативных и научных основ обеспечения регулирования безопасности;

- создание научной, нормативной и информационно-аналитической основы для решения актуальных проблем обеспечения ядерной и радиационной безопасности в целях совершенствования действующих федеральных норм и правил в области использования атомной энергии;
- создание и совершенствование научно-методологической основы для оценки деятельности в области использования атомной энергии критериям и требованиям по безопасности и для оценки и анализа безопасности ядерно и радиационно опасных объектов.

Об оптимизации регулирования. Задача оптимизации системы регулирования по всем его компонентам, как при лицензировании (в том числе экспертизе безопасности) и контроле (надзоре), так и при разработке требований к обеспечению безопасности, всегда стояла и будет стоять перед Ростехнадзором и ФБУ «НТЦ ЯРБ» как организацией его научно-технической поддержки.

Одним из базовых принципов регулирования ядерной и радиационной безопасности в области использования атомной энергии является принцип соразмерности регулирующего воздействия уровню опасности деятельности в области использования атомной энергии. Данный принцип заложен в статье 24 федерального закона «Об использовании атомной энергии», в которой установлено, что «меры, реализуемые органами государственного регулирования безопасности, по выполнению возложенных на них полномочий должны быть соразмерны потенциальной опасности объектов использования атомной энергии и деятельности в области использования атомной энергии».

Этот принцип актуален и для объектов «наследия», и к заключительным стадиям жизненного цикла (обращение с ОЯТ, РАО, вывод из эксплуатации), особое внимание которым уделено в рамках реализации ФЦП ЯРБ.

Кроме того, для эффективного развития экономики недопустимы излишние административные барьеры и издержки бизнеса от регулирующей деятельности.

Общепринятыми векторами развития регулирования безопасности являются внедрение риск-ориентированных подходов и дифференциация требований к обеспечению безопасности в зависимости от потенциальной опасности объектов регулирования.

К настоящему времени реализована определенная фаза работ по оптимизации регулирования деятельности в области использования атомной энергии, в рамках которой определены направления оптимизации.

Интерпретация этих направлений для деятельности по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии выглядит следующим образом:

Таблица 1 – Основные направления и первоочередные меры по развитию и оптимизации системы регулирования деятельности по выводу из эксплуатации объектов использования атомной энергии

Направления	Первоочередные меры
Законодательные основы и базовые подзаконные акты	разграничение требований путем выделения объектов, для которых не требуется вывод из эксплуатации, как отдельный (лицензируемый) вид деятельности в области использования атомной энергии; развитие нормы по определению состава и границ объекта с учетом возможности выделения из состава объекта его составных частей с целью вывода из эксплуатации.
Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии	дифференциация требований для отдельных категорий ОИАЭ; дифференциация требований в зависимости от стадии жизненного цикла ОИАЭ.
Надзор (контроль)	анализ правоприменительной практики регулирующих требований в рамках контроля (надзора) с целью установления регулярной обратной связи; дифференциация периодичности надзорных мероприятий для различных объектов использования атомной энергии.

При решении задач по развитию и оптимизации системы регулирования необходимо учитывать и другие задачи, которые встают при реализации мероприятий ФЦП, в том числе:

- планирование мероприятий по обеспечению безопасности путем определения приоритетных объектов для своевременной реализации мероприятий по их выводу из эксплуатации или иным относящимся к завершающим стадиям жизненного цикла объекта корректирующим мерам по повышению безопасности;
- количественная оценка итогов работ по повышению уровня ядерной и радиационной безопасности объектов в ходе реализации мероприятий ФЦП ЯРБ;
- мониторинг изменения состояния объектов с учетом всего комплекса проводимых работ по объекту на основе численных оценок.

Исходя из этого, можно сделать вывод о необходимости создания простого и эффективного инструмента, способного решать поставленные задачи. Таким инструментом является определение комплексного показателя потенциальной опасности ЯРОО для населения и окружающей среды, разработанное ИБРАЭ РАН в тесном сотрудничестве с нашими специалистами. Следует отметить, что данный показатель может с успехом применяться и для решения задач оптимизации регулирования, а именно дифференциации нормативных требований в зависимости от категории ОИАЭ и их стадии жизненного цикла, дифференциации надзорных мероприятий для различных объектов.

Актуальность выполнения работ по определению комплексного показателя обусловлена тем, что в настоящее время на территории Российской Федерации расположены сотни остановленных ЯРОО, находящихся в режиме ожидания вывода из эксплуатации. Осуществление их вывода из эксплуатации требует значительных финансовых ресурсов, которые не могут быть выделены одновременно для всех остановленных ЯРОО. Разработанные совместно с ИБРАЭ РАН количественные

показатели для определения приоритета вывода из эксплуатации ЯРОО могут быть использованы для обеспечения своевременности и безопасности процесса вывода объектов из эксплуатации и содействия принятию обоснованных решений в условиях ограниченного финансирования.

При этом должны покомпонентно учитываться данные о состоянии ЯРОО и размещенных в нем материалов, включая данные:

- об активности радиоактивных материалов и веществ, которые находятся на рассматриваемом объекте в виде упакованных или неупакованных материалов, радиоактивных загрязнений, в том числе по значениям активности отдельных нуклидов и суммарной альфа- и бета-активности неизвестного состава;
- о способности материалов, содержащих радионуклиды, в различных агрегатных состояниях к распространению в окружающей среде;
- об уровне неопределенности (изученности) свойств радиоактивных и иных материалов и веществ, содержащихся в объекте;
- об интенсивности (частоте) необходимого контроля состояния материалов или объекта;
- о состоянии барьеров безопасности с учетом качественных характеристик барьеров безопасности объекта и готовности к работам по их восстановлению (усилению).

Разработка комплексного показателя потенциальной опасности ЯРОО неразрывно связана с решением задач по инвентаризации ЯРОО и первичной регистрации РАО, ранжированию ЯРОО по степени опасности, оценке снижения риска в результате реализации ФЦП ЯРБ.

Следует отметить, что принципиальным отличием проведенной инвентаризации ЯРОО и первичной регистрации РАО от ранних работ аналогичной направленности стало заметное расширение списка объектов, детализация информации, определение четких сроков и направлений дальнейшей деятельности в отношении каждого объекта. На основании полученных данных формируются информационный ресурс ЯРОО, перечни пунктов долговременного хранения РАО, пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО, а также пунктов захоронения РАО.

Полученный в ходе работ на комплексным показателям потенциальной опасности перечень характерных для ЯРОО свойств предполагается положить в основу системы категорирования такой категории ЯРОО, как пункты размещения и пункты консервации особых РАО, предназначенной для дифференциации нормативных требований по обеспечению их безопасности в соответствии с Федеральным законом «Об обращении с радиоактивными отходами...», устанавливающим необходимость разработки категорий пунктов размещения особых РАО и пунктов консервации особых РАО и требований к обеспечению их безопасности, в том числе с учетом особенностей отдельных пунктов хранения РАО.

Таким образом, одной из актуальных является задача по созданию методологических основ категорирования пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО.

Как уже говорилось, эта задача решается путем выделения из совокупности характеристик пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО, определяющих уровень их потенциальной опасности, тех, которые могут служить критериями отнесения пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО к той или иной группе

(категории), для которой могут быть установлены специальные требования к обеспечению их безопасности. Индивидуальные наборы таких критериев для каждой категории, упорядоченные методом иерархической группировки, соответственно, будут представлять собой Систему категорий пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО.

В настоящее время в целях методического обеспечения категорирования пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО разрабатываются подходы к оценке текущего уровня их безопасности в виде относительного численного выражения с помощью расчета комплексного показателя потенциальной опасности. При этом был проведен расчет комплексного показателя опасности и ранжирование в соответствии с полученными значениями комплексного показателя всех пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО, включенных в проект соответствующего кадастра. Полученные результаты положены в основу разрабатываемой в настоящее время методологии категорирования пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО, позволяющей разрабатывать дифференцированные требования по обеспечению безопасности к каждой категории. Проведенные работы доказывают возможность успешного применения комплексного показателя для решения задач оптимизации регулирования.

Иллюстрацией примененного подхода может служить распределение значений КП для пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО по цветовой шкале уровней безопасности, из которого видно четкое разделение объектов на группы со сходными характеристиками, позволяющее разрабатывать для каждой из этих групп специальные требования по обеспечению безопасности, соразмерные их уровню потенциальной опасности.

1 группа – хранилища ТРО с инженерными барьерами, включая объекты, расположенные на площадках ПУГР;

2 группа – пункты размещения особых РАО, образовавшиеся в результате применения мирных ядерных взрывов (МЯВ), в которых отсутствуют ЖРО;

3 группа – хранилища ТРО без инженерных барьеров и емкости-хранилища ЖРО;

4 группа – МЯВ, в которых присутствуют ЖРО;

5 группа – водоемы-хранилища ЖРО и хвостохранилища.

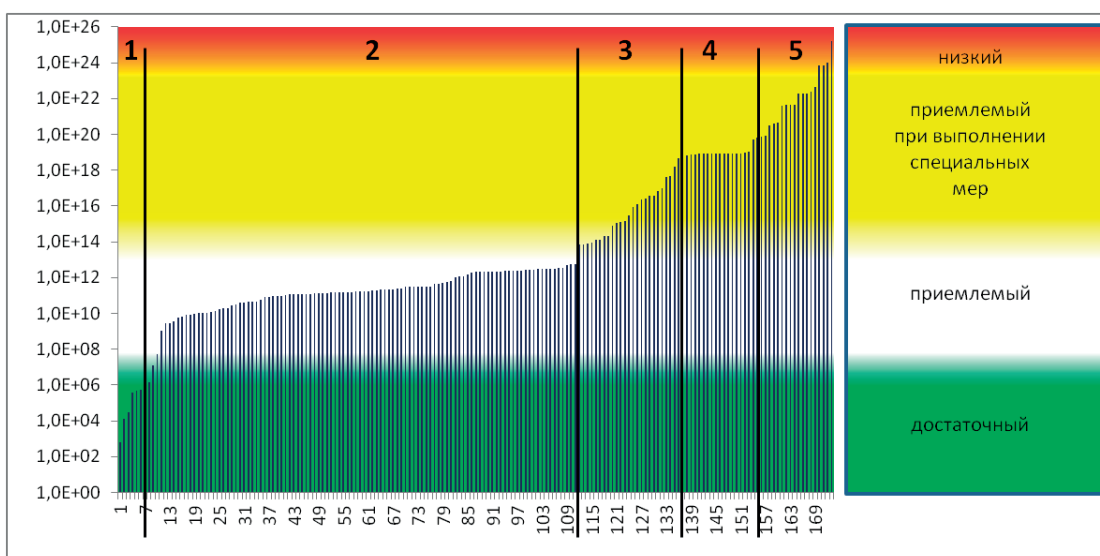


Рис. 1 – Распределение значений КП для пунктов размещения и пунктов консервации особых РАО

С помощью комплексного показателя опасности можно оценивать динамику изменения (снижения) опасности после каждого мероприятия, соответственно оценивать их эффективность, что было бы целесообразно как с точки зрения формирования отчетности по реализации мероприятий, так и с точки зрения оптимизации регулирующей деятельности в отношении этих объектов.

Таким образом, комплексный показатель опасности может быть использован для внедрения средств комплексного анализа, прогнозирования и оценки состояния ядерной и радиационной безопасности, выявления рисков и управления ими, что является одной из актуальных задач в области усиления защиты ядерно и радиационно опасных объектов, персонала, населения и окружающей среды, поставленных в Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года.

Следует отметить еще одно направление работ, неразрывно связанное с реализацией мероприятий ФЦП ЯРБ в отношении заключительной стадии жизненного цикла объектов использования атомной энергии. Это работы по систематизации требований в отношении вывода из эксплуатации различных объектов использования атомной энергии. Проведенный анализ позволил выделить общие требования по выводу из эксплуатации, применимые ко всем объектам, реализуемые на различных стадиях их жизненного цикла, и сконцентрировать их в федеральных нормах и правилах «Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения». НП-091-14. Такой подход позволил выстроить «пирамиду регулирования» в отношении обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации.

Соответственно, появилась возможность для документов 2-3 уровня оставить только те требования, которые являются специфичными для конкретных категорий объектов использования атомной энергии. Переработка этих документов ведется в настоящее время.



Рис. 2 – «Пирамида регулирования»

Суммируя вышесказанное в отношении дифференцированного подхода к регулированию безопасности, следует отметить целесообразность дальнейших работ по развитию методологии оценки потенциальной опасности, направленных, в частности на:

- мониторинг изменения уровня опасности как для отдельного объекта, так и для их совокупности, с учетом радиационных и экологических аспектов;
- перспективные оценки изменения состояния потенциальной опасности в ходе реализации мероприятий ФЦП с выработкой предложений по плановым значениям комплексного показателя;
- анализ текущего состояния и опыта проведения работ по повышению безопасности для группы объектов и подготовку рекомендаций по повышению эффективности решений, направленных на повышение безопасности;
- разработка предложений по изменению статуса пунктов хранения РАО (пункты размещения особых РАО и пункты долговременного хранения) с учетом влияния запланированных практических работ на комплексный показатель опасности.

Следует упомянуть также о таких значимых с точки зрения совершенствования российской нормативной правовой базы мероприятиях, как миссия и постмиссия МАГАТЭ «Комплексная оценка регулирующей деятельности». В целях выполнения рекомендаций и реализации предложений миссии Ростехнадзором был разработан и утвержден план действий, содержащий 46 мероприятий, направленных в том числе на совершенствование законодательной и нормативной основы регулирования, разработку процедур и инструкций, связанных с регулированием, и их изменение.

Проведенная в 2013 году постмиссия МАГАТЭ высоко оценила деятельность Ростехнадзора по совершенствованию государственного регулирования безопасности в области использования атомной энергии. Было отмечено, что рекомендации и предложения изначальной миссии были учтены в плане действий Ростехнадзора, во многих областях достигнут значительный прогресс, большое число мероприятий по совершенствованию регулирующей деятельности было проведено и после реализации плана.

По результатам постмиссии международными экспертами были выработаны рекомендации и предложения для дальнейшего повышения эффективности регулирующей деятельности Ростехнадзора в соответствии с нормами безопасности МАГАТЭ, а также определены хорошие практики, которые могли бы быть рекомендованы для использования органами регулирования безопасности при использовании атомной энергии других государств – членом МАГАТЭ.

В целях реализации рекомендаций и предложений постмиссии при поддержке ФБУ «НТЦ ЯРБ» был разработан и утвержден План действий Ростехнадзора по их реализации. План включает 24 мероприятия, направленные на совершенствование нормативной правовой системы Российской Федерации по обеспечению безопасности в области использования атомной энергии по вопросам, относящимся к компетенции Правительства Российской Федерации, Ростехнадзора и других органов регулирования. Реализация мероприятий плана предусмотрена до конца 2018 года.

Еще одним направлением развития научной основы регулирования безопасности в области использования атомной энергии является экспертиза безопасности объектов использования атомной энергии и лицензируемых видов деятельности в области использования атомной энергии, которая является частью процедуры лицензирования деятельности в области использования атомной энергии.

Предметом экспертизы безопасности является анализ соответствия документов, представленных заявителем для получения лицензии и обосновывающих безопасность



объектов использования атомной энергии и (или) видов деятельности в области использования атомной энергии, и (или) фактического состояния объекта использования атомной энергии законодательству Российской Федерации, нормам и правилам в области использования атомной энергии, современному уровню развития науки, техники и производства.

Экспертиза объектов использования атомной энергии, в отношении которых Правительством Российской Федерации установлен режим постоянного государственного надзора и (или) видов деятельности в области использования атомной энергии, осуществляемых на таких объектах или в отношении таких объектов эксплуатирующими организациями, проводится организациями научно-технической поддержки Ростехнадзора, одной из которых является ФБУ «НТЦ ЯРБ». Следует отметить, что к таким объектам относится большинство объектов «наследия», в отношении которых в соответствии с ФЦП ЯРБ проводится множество мероприятий по приведению их в безопасное состояние.

Несколько слов хотелось бы сказать еще об одном аспекте научной основы регулирования деятельности в области использования атомной энергии. Речь идет о проведении экспертизы программных средств, применяемых при обосновании и (или) обеспечении безопасности ОИАЭ для целей научно-технического обеспечения лицензирования ОИАЭ.

Расчетные оценки в обоснование безопасности объектов использования атомной энергии проводятся с помощью различных отечественных и зарубежных программных средств. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии содержат требования о применении при обосновании безопасности ОИАЭ аттестованных ПС.

Для проведения экспертизы и аттестации ПС при Ростехнадзоре работает экспертный Совет (далее - Совет) и секции Совета по различным тематическим направлениям. Совет и секции включают специалистов, рекомендованных организациями отрасли, институтами Российской Академии наук, вузами, ФБУ «НТЦ ЯРБ». В Совете и его секциях работают представители пятидесяти организаций. ФБУ «НТЦ ЯРБ» по поручению Ростехнадзора с 1991 г. выполняет работу по организации работы Совета.

Объектами аттестации являются ПС, предназначенные для обоснования проектов, технических решений, параметров, режимов, влияющих на безопасность ОИАЭ, а также ПС, применяемые в технологических системах, обеспечивающих безопасность ОИАЭ. Аттестации подлежат российские и зарубежные коды, как вновь создаваемые, так и уже применявшиеся.

## **Заключение**

1. На разных стадиях экспертизы (на сооружение, ввод в эксплуатацию, вывод из эксплуатации) прошло много проектов. Характерно повышение качества проектирования и обоснования безопасности, большой объем завершенных работ реально повлиявших на состояние безопасности.

2. В ходе реализации мероприятий ФЦП ЯРБ достигнут значительный прогресс в совершенствовании нормативной правовой базы в области использования атомной энергии, в том числе в отношении объектов «наследия» и заключительных стадий жизненного цикла объектов использования атомной энергии.

3. Результаты анализа эффективности тех или иных мероприятий, в том числе и на основе определения комплексного показателя опасности, должны стать основой совершенствования управления в области использования атомной энергии, включая объекты «наследия», и могут быть использованы в целях оптимизации регулирования безопасности.

Впереди еще много работы. Предстоит реализация плана действий по результатам постмиссии МАГАТЭ, направленных, в том числе на совершенствование нормативной правовой системы Российской Федерации по обеспечению безопасности в области использования атомной энергии.

Целесообразно продолжать работы по научному и информационно-аналитическому обеспечению регулирования безопасности, основанному на дифференциации требований к обеспечению безопасности объектов использования атомной энергии в зависимости от их потенциальной опасности.

При этом необходимо в ближайшее время сконцентрировать усилия на направлениях оптимизации регулирования, о которых было уже сказано в ходе доклада, работы над которыми ведутся, но значимых результатов пока не получено, а именно:

- разграничение требований путем выделения объектов, для которых не требуется вывод из эксплуатации как отдельный (лицензируемый) вид деятельности в области использования атомной энергии;
- развитие нормы по определению состава и границ объекта с учетом возможности выделения из состава объекта его составных частей с целью вывода из эксплуатации;
- дифференциация надзорных мероприятий для различных объектов использования атомной энергии в зависимости от уровня их потенциальной опасности.

## РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА И ЗДОРОВЬЕ РАБОТНИКОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ И НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ РОССИИ

д.м.н., профессор В. В. Уйба  
руководитель<sup>1</sup>,  
В. В. Романов

заместитель руководителя<sup>1</sup>,  
к.м.н. А. С. Самойлов  
генеральный директор<sup>2</sup>,

д.м.н., профессор Н. К. Шандала  
заместитель генерального директора<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное медико-биологическое агентство, г. Москва

<sup>2</sup>ФГУБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна  
ФМБА России, г. Москва



ФМБА России как неотъемлемая структура бывшего Министерства здравоохранения СССР, а в настоящее время Минздрава России осуществляет медицинское обеспечение особо опасных отраслей отечественной промышленности, в основном – оборонного блока, в части, касающейся состояния здоровья профессионалов и населения, а также санитарно-гигиенической обстановку в регионах их размещения.

Создание этой системы здравоохранения в нашей стране было связано с разработкой ядерного оружия в СССР и становлением атомной индустрии. У истоков её медицинского обеспечения стояли выдающиеся ученые и организаторы здравоохранения академики АМН СССР: Е. И. Смирнов, Г. М. Франк, А. А. Летавет, Ф. Г. Кротков, Л. А. Ильин, а непосредственным организатором этой службы был генерал-лейтенант медицинской службы, Герой Социалистического Труда А. И. Бурназян, назначенный в августе 1946 года начальником Медико-Санитарного отдела Первого Главного Управления Совета Министров СССР, которому было поручено создание атомного оружия.

В дальнейшем, по мере развития широкомасштабных работ в этой области и создания новых оборонных отраслей, в частности, ракетно-космической техники, медико-санитарный отдел 1-го Главного Управления был преобразован в 3-е Главное Управление при МЗ СССР, затем в Федеральное Управление медико-биологических и экстремальных проблем и, а с 2004 года – в Федеральное медико-биологическое агентство (ФМБА России).

Неотъемлемой заслугой указанных ученых и организаторов здравоохранения было изначальное понимание необходимости и требование создания сети научно-исследовательских институтов, ответственных за разработку научных основ складывающихся новых дисциплин, таких как радиобиология, радиационная медицина, радиационная гигиена, дозиметрия ионизирующих излучений применительно к человеку и объектам внешней среды. Первым в нашей стране таким научным учреждением был созданный в 1946 г. Институт биофизики, ныне Государственный научный центр «Федеральный медицинский биофизический центр им А. И. Бурназяна» ФМБА России.

Одним из основополагающих направлений деятельности ФМБА России традиционно было и остается медицинское обеспечение персонала радиационно опасных

производств и населения, проживающего в районах их расположения. ФМБА России осуществляет обслуживание более 190 тыс. работников атомной промышленности, из которых на дозиметрическом контроле состоит около 72 тыс. человек. Всего на медицинском обслуживании в учреждениях ФМБА России состоит более 740 тыс. человек, включая население, проживающее в закрытых административно-территориальных образованиях (ЗАТО) и в городах-спутниках при атомных электростанциях.

Заслуживают внимания основные демографические показатели среди жителей ЗАТО, представленные в таблице 1: рождаемость составляла 10,1 на 1 тыс. населения (по России – 12,6). Более низкий показатель можно объяснить феноменом «старения» населения ЗАТО. Комплексное и качественное медицинское обеспечение матерей и детского населения позволило иметь более низкую младенческую смертность по сравнению с показателем по России (4,8 и 7,5 соответственно). Общая смертность также ниже российского показателя (12,4 и 14,3 на 1 тыс. населения соответственно). Заболеваемость социально значимыми болезнями, в первую очередь, злокачественными новообразованиями, составила 412,1 на 100 тыс. населения (Россия – 365,42), что обусловлено обеспечением ранней диагностики, а также большой долей пожилого населения. Заболеваемость туберкулёзом составила 32,8 случая на 100 тыс. населения (Россия – 66,6), что может служить индикатором качества жизни и медицинской помощи в обслуживаемых регионах.

*Таблица 1 – Демографические показатели в закрытых административно-территориальных образованиях*

Показатель	ФМБА России	Российская Федерация
Рождаемость (на 1 тыс. населения)	10,1	12,6
Младенческая смертность (на 1 тыс. населения)	4,8	7,5
Общая смертность (на 1 тыс. населения)	12,4	14,3
Заболеваемость злокачественными новообразованиями (на 100 тыс. населения)	412,0	365,4
Заболеваемость туберкулёзом (на 100 тыс. населения)	32,8	36,6

По данным многолетнего мониторинга среднегодовая доза облучения персонала по отрасли находится в пределах 2 мЗв/год и не превышает установленной Нормами радиационной безопасности величины 20 мЗв. На протяжении многих лет не регистрируются случаи превышения сбросов и выбросов радиоактивных веществ во внешнюю среду из атомных объектов, а химические загрязнения атмосферного воздуха и объектов водной среды не превышают предельно допустимых концентраций. Это положение достигнуто в результате не только технологических решений, но и жесткого контроля соблюдения регламентов санитарного законодательства со стороны ФМБА России.

Вклад в дозу облучения населения Российской Федерации от глобальных выпадений и прошлых радиационных аварий, а также от источников ионизирующего излучения в промышленности составляет сотые доли процента от естественного фона. Эффективные дозы облучения населения за счёт работы предприятий атомной энергетики находятся на уровне ниже 0,01 мЗв (при регламенте – в 1 мЗв в год). Таким образом, в условиях регламентной, штатной работы предприятий атомной

индустрии достигнута устойчивая радиационно-гигиеническая и экологическая обстановка.

В настоящий момент одним из основных направлений научных исследований в области радиационной медицины является изучение отдалённых последствий облучения персонала и населения, включая оценку риска генетических и онкологических эффектов. Эта задача решается путем создания медико-дозиметрических регистров. Научной базой регистров служат показатели радиогенного риска, в первую очередь, онкологического. Информационной основой регистров являются персонифицированные сведения о дозах радиационного воздействия, нерадиационных факторах и данные о медицинских последствиях у лиц, включенных в регистры.

Под руководством ФМБА России, силами специалистов в области радиационной эпидемиологии, созданы следующие медико-дозиметрические регистры:

- отраслевой медико-дозиметрический регистр ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС – работников «Росатома»;
- регистр персонала основных производств производственного объединения «Маяк»;
- регистр детей, родившихся в г. Озерск;
- онкологический регистр населения г. Озерск;
- регистр Сибирского химического комбината;
- регистр Горно-химического комбината;
- регистр острых лучевых поражений человека;
- отраслевой регистр лиц, имеющих профессиональные заболевания.

На основе этих регистров создана объединенная когорта, насчитывающая около 57 тыс. работников, для которых имеются оценки доз внешнего излучения, а для части работников также оценены уровни воздействия инкорпорированного плутония. Кроме того, для обследования населения и оказания ему медицинской помощи в пятидесятые годы XX века был создан регистр облученных лиц, которые проживали в населенных пунктах бассейна реки Теча.

В ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России с 1985 года ведутся уникальный для мирового сообщества регистр и база данных по острым лучевым поражениям человека. В нем фиксируются сведения о радиационных инцидентах, имевших место на территории бывшего СССР с 1949 г., и о числе погибших и пострадавших, таблица 2.

Таблица 2 – Регистр радиационных аварий

Типы аварий и инцидентов	Число пострадавших		
	Всего	Острая лучевая болезнь	Умершие
Радиоизотопные установки	171	51	16
Рентгеновские установки и ускорители	52	0	0
Реакторные инциденты	82	73	13
Местные лучевые поражения на «Маяке» (1949-1956)	168	0	0
Атомные подводные лодки и ядерные испытания	141	93	12
Другие инциденты	17	7	2
Авария на Чернобыльской АЭС	134	134	28
Всего	765	358	71

По материалам регистра радиационных аварий, за период с 1949 по 2014 годы, 765 человек имели клинически значимые лучевые поражения. Диагноз острой лучевой болезни установлен у 358 человек. В общей сложности в результате радиационного воздействия в первые 3–4 месяца после облучения погиб 71 человек.

Регистр радиационных аварий и база данных по острым лучевым поражениям человека составляют уникальный информационный ресурс для изучения клиники радиационной патологии человека и оценки применяемых методов лечения. Эта наша информация представляет собой значительную научную ценность и составляет более половины мирового опыта.

Система аварийной готовности при радиационных авариях функционирует в ФМБА России с момента образования. В составе Центров гигиены и эпидемиологии ФМБА России имеются 32 радиационно-гигиенические бригады, в лечебных учреждениях находятся в состоянии постоянной готовности 65 бригад быстрого реагирования. В 2010 году на базе ведущих НИИ (Институт промышленной и морской медицины, г. Санкт-Петербург и Южноуральский институт биофизики, г. Озёрск) были организованы региональные аварийные медико-дозиметрические центры. В качестве головного учреждения определен Аварийный медицинский радиационно-дозиметрический центр ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России. Аварийный медицинский радиационно-дозиметрический центр и лечебно-профилактические учреждения ФМБА России на регулярной основе участвуют в тренировках и учениях на атомных станциях и на предприятиях госкорпорации «Росатом», например, учения «Арктика», а также в других масштабных учениях по линии МАГАТЭ.

Важнейшими функциями ФМБА России является государственное регулирование безопасности при использовании атомной энергии. Этими функциями Агентство наделено в соответствии с решением Правительства Российской Федерации от 3 июля 2006 г. № 412 «О федеральных органах исполнительной власти, осуществляющих государственное управление использованием атомной энергии и государственное регулирование безопасности при использовании атомной энергии». При этом часть таких функций осуществляется через систему государственного санитарно-эпидемиологического нормирования России. В рамках данных полномочий ФМБА России:

- разрабатывает нормативы в области радиационной безопасности;
- разрабатывает нормативно-методическую документацию;
- проводит экспертизу сложных проектов строительства и реконструкции объектов атомной отрасли.

Следует отметить, что за последние 10 лет учеными и специалистами ФМБА России было разработано более 70 гигиенических нормативов и 150 нормативно-методических документов в области обеспечения радиационной безопасности персонала и населения. Среди них:

- санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций;
- блок обязательных требований к средствам индивидуальной защиты и их дезактивации;
- нормативы для контроля за обеспечением радиационной безопасности при комплексной утилизации атомных подводных лодок.

В планах Агентства на ближайшие годы совместно с Роспотребнадзором имеется разработка важнейших основополагающих документов и новых редакций отечественных

«Норм радиационной безопасности» и «Основных санитарных правил по обеспечению радиационной безопасности».

ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна принимает непосредственное участие в работах с зарубежными партнёрами – Государственным управлением Норвегии по ядерной и радиационной безопасности в части проблем регулирования радиационной безопасности при экологической реабилитации радиационно опасных объектов – бывших береговых технических баз военно-морского флота на северо-западе России, в Мурманской области, являющихся ядерным наследием России. В ходе выполнения указанных работ, решаются следующие задачи:

- оценка радиологических угроз для определения приоритетных направлений регулирования;
- детальный анализ радиационной обстановки на площадках, территориях и в окрестности пунктов временного хранения отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов;
- обеспечение радиационной безопасности персонала и населения. Разработка электронных карт и геоинформационных систем;
- аварийное реагирование и противоаварийные учения и тренировки;
- культура безопасности в части мониторинга риска нарушения профессиональной надёжности персонала;
- экспертиза проектов в области экологической реабилитации;
- разработка на основе полученных результатов мониторинга и оценки существующих рисков новых регулирующих документов для органов и учреждений ФМБА России, осуществляющих мероприятия по контролю и надзору.

Решение проблем уранового наследия реализуется нами в рамках межгосударственной целевой программы Евразийского экономического сообщества (ЕврАзЭС) «Рекультивация территорий государств-членов ЕврАзЭС, подвергшихся воздействию уранодобывающих и перерабатывающих предприятий». Так как ранее медико-санитарное обеспечение этих предприятий, расположенных в Казахстане, России, Кыргызстане, Туркмении, Узбекистане, осуществляло Третье Главное Управление при Минздраве СССР – к разработке мероприятий указанной программы привлечено ФМБА России.

Облучение населения в связи с урановым наследием обусловлено присутствием радона в воздухе помещений, прежде всего потому, что объекты уранодобывающего производства находятся на заведомо радоноопасных ураноносных территориях. На протяжении ряда лет неудовлетворительная ситуация складывалась в пос. Октябрьский, расположенном на территории крупнейшего в России Приаргунского горно-химического уранового комбината в Читинской области. По нашим исследованиям здесь, в 40% жилых домов были превышены нормативы по содержанию радона-222 в воздухе. По результатам наших работ и регулирующих предписаний было принято решение о переселении жителей пос. Октябрьский в более «чистое» место – город Краснокаменск. Завершение такого переселения состоялось в 2013 году.

В рамках федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России являлось головным исполнителем следующих мероприятий:

- Создание специального оборудования, нормативно-правовой базы организации и структуры аварийного медико-санитарного обеспечения и аварийного регулирования радиационной безопасности.
- Проведение эколого-гигиенических обследований территорий, прилегающих к предприятиям по добыче и переработке урановых руд, и оценка состояния здоровья персонала этих предприятий.
- Создание, обеспечение развертывания и поддержания в готовности аварийных медико-санитарных формирований и региональных центров.
- Реабилитация объектов ФМБА России.
- В качестве соисполнителей ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России участвовало в разработке следующих научно-исследовательских работ:
- Разработка медико-санитарных мероприятий по защите населения от повышенного уровня воздействия ионизирующего излучения природных источников, а также от облучения при проведении медицинских процедур.
- Создание автоматизированной системы контроля радиационного воздействия на население и среду обитания человека.
- В результате выполнения указанных научных работ и проведения медико-гигиенических мероприятий были достигнуты следующие основные результаты:
- Создана система мониторинга функционирования могильника твердых радиоактивных отходов на базе «Планерная» и прилегающих территорий и проведены мероприятия по повышению их радиационной безопасности.
- Создана система аварийного реагирования в случае радиационных аварий и инцидентов (система аварийных медико-дозиметрических центров).
- Проведено эколого-гигиеническое обследование территорий, прилегающих к Приаргунскому производственному горно-химическому объединению и проведена оценка состояния здоровья персонала этого предприятия.

По итогам изложенного материала о нашей деятельности в области охраны здоровья и регулирования радиационной безопасности персонала и населения можно сделать следующие заключения:

68-летняя деятельность ФМБА России как неотъемлемой части отечественного здравоохранения, спроецированная на медико-санитарное обеспечение профессиональных работников оборонных отраслей нашего государства и населения, по достигнутым результатам себя полностью оправдала. Эта констатация основывается, в частности, на приведенных выше демографических показателях и показателях радиационной безопасности.

В рамках дальнейшего совершенствования медико-санитарного обеспечения работников атомной промышленности и индустрии и населения, проживающего в зоне их влияния, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России считает приоритетными следующие научно-практические направления деятельности, которые, в том числе, могут быть решены в рамках Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016–2020 годы и на период до 2030 года»:

- Совершенствование существующих и разработка новых медико-санитарных технологий, направленных на обеспечение радиационной безопасности при проведении работ на объектах атомной индустрии и в зонах ядерного наследия.



- Завершение создания единой системы радиационно-гигиенического реагирования и иных медицинских аспектов защиты людей в случае радиационных аварий на севере, юге, западе и востоке страны, где размещены и будут возводиться объекты атомной энергетики и промышленности.
- Совершенствование методологии изучения отдаленных последствий облучения персонала и населения.

По достоинству оценивая представленные материалы, есть основания выразить уверенность, что принятие и реализация научных разработок в указанных перспективных направлениях будет способствовать:

- созданию необходимых условий для успешного развития атомной энергетики;
- уменьшению груза проблем, связанных с ядерным и урановым наследием;
- повышению уровня и качества жизни соответствующих контингентов населения России;
- укреплению национальной безопасности страны.

## АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННОЙ ГИГИЕНЫ В СВЕТЕ ИТОГОВ ФЦП ЯРБ

д.м.н., профессор И. К. Романович  
директор

*ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский  
институт радиационной гигиены имени профессора  
П. В. Рамзаева»*



### **Введение**

ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» являлась комплексной программой, которая полностью соответствовала своему названию, и включала все основные направления обеспечения радиационной безопасности населения, а именно – при обращении с техногенными источниками, при использовании источников ионизирующего излучения в медицине, при облучении природными источниками излучения.

Роспотребнадзор в лице Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П. В. Рамзаева участвовал в реализации ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» по следующим направлениям:

- радиационно-гигиенические обследования районов проведения мирных ядерных взрывов и разработка нормативно-методических документов по обеспечению радиационной безопасности населения;
- создание государственной автоматизированной системы контроля радиационного воздействия на население и среду обитания человека. Создание АСКРВ Роспотребнадзора;
- обследование радиационно опасных объектов, материалов и источников ионизирующего излучения на территории Российской Федерации и анализ их состояния с оценкой безопасности их эксплуатации с учетом требований нормативных документов. Радиационно-гигиеническая паспортизация;
- создание Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан во всех регионах Российской Федерации. ЕСКИД;
- разработка медико-санитарных мероприятий по защите населения от повышенного уровня воздействия ионизирующего излучения природных источников, а также от облучения при проведении медицинских процедур. Радиология. Медицина-14;
- разработка медико-санитарных мероприятий по защите населения от повышенного уровня воздействия ионизирующего излучения природных источников, а также от облучения при проведении медицинских процедур. Природные источники ионизирующего излучения.

### **1 Обеспечение радиационной безопасности населения в районах проведения мирных ядерных взрывов**

На территории России с 1965 по 1988 год в народно-хозяйственных целях произведено 80 МЯВ, два из которых являлись аварийными, два – с запланированным

выходом радиоактивности на поверхность, а один характеризовался постоянным нерегулируемым выносом радиоактивности на поверхность, остальные – без выхода радиоактивности. На момент начала работ в 2008 году МЯВ характеризовались как бесхозные объекты, к ним было приковано внимание средств массовой информации, объекты вызвали беспокойство местных жителей, отсутствовали нормативные документы по обеспечению радиационной безопасности. В оценках безопасности объектов разными специалистами было много противоречий.

Места проведения МЯВ на территории Российской Федерации представлены на рис. 1.



*Рис. 1 – Карта МЯВ на территории РФ (розовые точки – это мирные ядерные взрывы, обследованные Институтом в рамках ФЦП ЯРБ-1, желтые – по заказу субъектов РФ, а синими крестиками обозначены все остальные МЯВ)*

Работы, выполненные Институтом, включали два фрагмента: изучение радиационной обстановки и изучение информационных потребностей населения, проживающего в районах проведения МЯВ.

По первому фрагменту исследования организованы экспедиционные специализированные работы по изучению текущей радиационной обстановки в районах проведения шести МЯВ. Первая экспедиция была организована на МЯВ «Глобус-1» (Ивановская область) с аварийным выбросом радиоактивности. Предназначение взрыва связано с зондированием земной коры. К данному объекту было приковано наибольшее внимание прессы, и с ним были связаны наиболее выраженные протестные настроения у населения. Вторая экспедиция выполнена на объект «Тайга» (Пермский край). Здесь был запланированный выброс радиоактивности на поверхность с образованием озера. Два взрыва выполнены с целью создания выемки траншеи в рамках проекта переброски вод северных рек в Волгу. Третья экспедиция выполнена на объект «Днепр-1, 2» (Мурманская область). Два взрыва выполнены с целью дробления рудного тела. До настоящего времени из штолен вытекают ручейки с повышенным содержанием трития. Это популярная туристическая зона и туристы пили воду из ручейков, считая это родниками. Четвертая экспедиция состоялась к объекту «Тавда» (Тюменская область). Здесь имело место предположение о загрязнении тритием подземных вод, использующихся для

водоснабжения населения, в том числе г. Тюмени. Предназначение взрыва – создание подземных емкостей. Для исследования были отобраны пробы воды во всех населенных пунктах от места МЯВ до г. Тюмень. Точки отбора проб показаны на рисунке 2. Повышенных уровней трития и других техногенных радионуклидов в воде подземных и открытых источников не обнаружено.

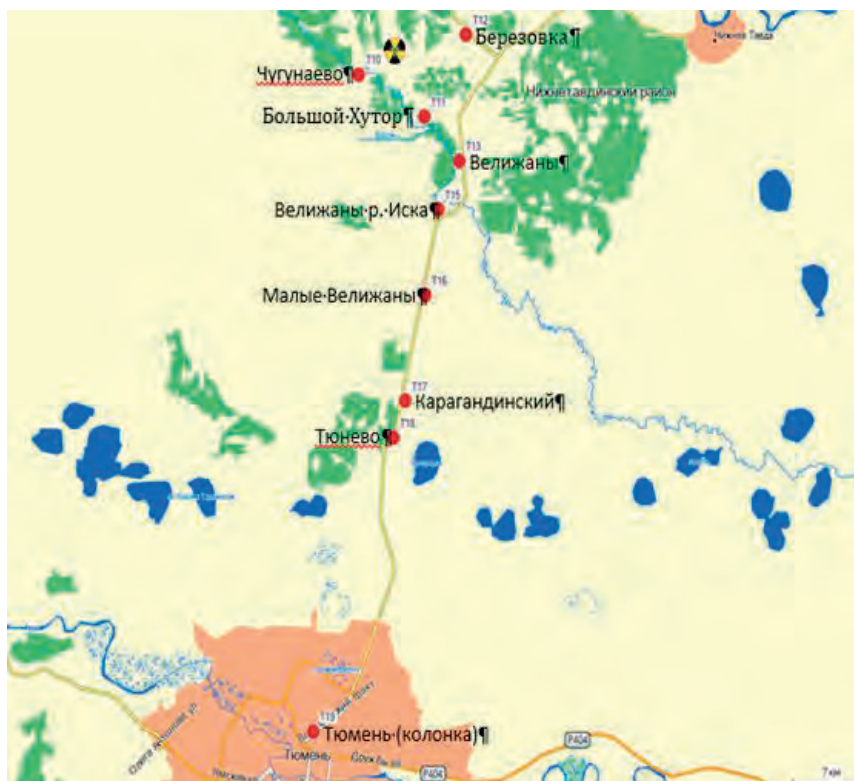


Рис. 2 – Точки отбора проб воды на тритий в населенных пунктах от МЯВ «Тавда» до г. Тюмень

Экспедиционные работы были организованы также на месте МЯВ «Глобус-2» и «Рубин-1» (Архангельская область), в том числе дважды, с интервалом 5 лет, на территориях с проблемными взрывами «Глобус-1» и «Днепр-1, 2».

До начала исследований в 2008 году Институт радиационной гигиены имел опыт проведения аналогичных экспедиционных исследований в республике Саха (Якутия) – взрыв «Кратон-3» и «Кристалл», 5 взрывов в Ханты-Мансийском автономном округе (Ангара, Кимберлит, Бензол, Кратон-1, Кварц-3), что вместе с исследованиями после 2008 года позволило получить более полное представление о проблеме. В процессе исследований были изучены основные показатели радиационной обстановки, от которых может зависеть доза облучения лиц, посещающих данную территорию, и разработаны предложения по обеспечению радиационной безопасности.

По второму фрагменту во всех районах проведения перечисленных выше взрывов проведены анкетные опросы жителей с целью выяснения причин беспокойства, степени информированности, основных источников информации, а также вопросов, по которым необходимо получить информацию. Проведена санитарно-просветительская работа с населением, доведены до населения, администрации, журналистов данные инструментальных измерений по радиационной обстановке в месте МЯВ и в ближайших населенных пунктах.

В результате реализации мероприятия получены объективные данные о радиационной обстановке в местах МЯВ. Установлено, что радиоактивные отходы по уровню содержания  $^{137}\text{Cs}$  образовались только в месте взрыва «Глобус-1», Ивановская область (табл. 1).

Таблица 1 – Уровни загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  в местах проведения МЯВ

Территория, прилегающая к месту проведения МЯВ	Год обследования	Объемная активность $^{137}\text{Cs}$ , Бк/кг	
		Минимум	Максимум
Глобус-1 (Ивановская обл.)	2008	6920	79000
Днепр-1, 2	2008	1,46	5,72
Тайга	2009	61	2100
Глобус-2	2011	2,58	240
Рубин-1	2011	1,64	3,34
Тавда	2012	3,52	73,2
Днепр-1, 2	2013	0,1	3,1

Содержание трития в водных объектах в районе проведения МЯВ превышает уровень вмешательства по питьевой воде только в воде, вытекающей из шахты взрыва Днепр (Мурманская обл.) и исследовательской скважине Глобус-1, Ивановская область. Однако даже эта вода не относится по содержанию трития к радиоактивным отходам (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание трития в водных объектах в районах проведения МЯВ

Территория, прилегающая к месту проведения МЯВ	Год обследования	Содержание $^3\text{H}$ в воде, Бк/л	
		Минимум	Максимум
«Днепр-1,2»	2008	2,1	8700 (шахтная вода)
«Глобус-1»	2008	1,9	8900 (иссл. скважина)
«Тайга»	2009	27	1720 (озеро)
«Глобус-2»	2011	15,6	15,6 (река)
«Рубин-1»	2011	3,2	3,2 (река)
«Тавда»	2012	2,2	5,2 (колодец)
«Днепр-1,2»	2013	2,2	4700 (шахтная вода)

Высокое содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в воде водоемов, расположенных на территориях, прилегающих к местам проведения взрывов, выявлены только на объекте Глобус 1 (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в воде водоемов, расположенных на территориях, прилегающих к местам проведения МЯВ, Бк/л

Объект	Год	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/л		$^{90}\text{Sr}$ , Бк/л	
		Минимум	Максимум	Минимум	Максимум
«Днепр-1,2»	2008	-	<0,01	<0,01	0,02
«Глобус-1»	2008	0,14	9900	0,01	4800
«Тайга»	2009	-	<0,1	-	0,98
«Днепр-1,2»	2013	0,011	0,033	0,005	0,013
«Глобус-1»	2014	0,02	4300	0,01	3300

В результате выполненной работы получены объективные данные о дозах облучения населения, проживающего в населенных пунктах, расположенных вблизи МЯВ. Ни в одном населенном пункте дозы облучения критической группы населения не превышают 0,1 мЗв/год (табл. 4). По приложению 5 НРБ-99/2009 – это уровень исследования, не требующий срочных мер вмешательства.

Таблица 4 – Дозы облучения критических групп населения, проживающего в районах проведения МЯВ

Территория, прилегающая к месту проведения МЯВ	Год обследования	Доза, мкЗв/год		
		Внешнее облучение	Внутреннее облучение	Сумма
«Глобус-1»	2008	1,8	10,7	12,5
«Днепр-1, 2»	2008	14,4	75	89,4
«Тайга»	2009	20,9	5,7	26,6
«Глобус-2»	2011	2,91	3,35	6,26
«Рубин-1»	2011	0,02	1,32	1,34
«Тавда»	2012	0,27	0,02	0,29
«Днепр-1, 2»	2013	1,4	6,4	7,8

Одно из самых важных достижений данной работы – это снятие напряжения среди населения, связанное с расположением мест их проживания вблизи МЯВ.

В результате выполнения мероприятия разработаны и утверждены санитарные правила «Обеспечение радиационной безопасности населения, проживающего в районах проведения (1965–1988 гг.) ядерных взрывов в мирных целях». В декабре 2015 года завершается разработка методического руководства по информационной работе с населением, проживающим в районах проведения мирных ядерных взрывов. Результаты работы опубликованы в 5 научных статьях, доложены на научных конференциях. Точка зрения специалистов Института о безопасности взрывов для здоровья населения, проживающего в местах проведения МЯВ, представлена в телеинтервью для центрального телевидения и в региональных СМИ.

На части объектов уже проведены работы по обустройству МЯВ в соответствии с разработанным СанПиНом. Так, по данным РосРАО, на объекте Глобус-1 (Ивановская область) выполнены ликвидационно-изоляционные работы на скважинах, ликвидировано необустроенное хранилище РАО, рекультивирована территория.

В результате переноса русла реки Рисйок и строительства пруда-смесителя непосредственно у выхода шахтных вод, происходит разбавление трития до величин ниже уровня вмешательства по питьевой воде. Далее по новому руслу реки Рисйок вода с низким содержанием трития поступает в реку Кунийок, где еще больше происходит разбавление (рис. 3).

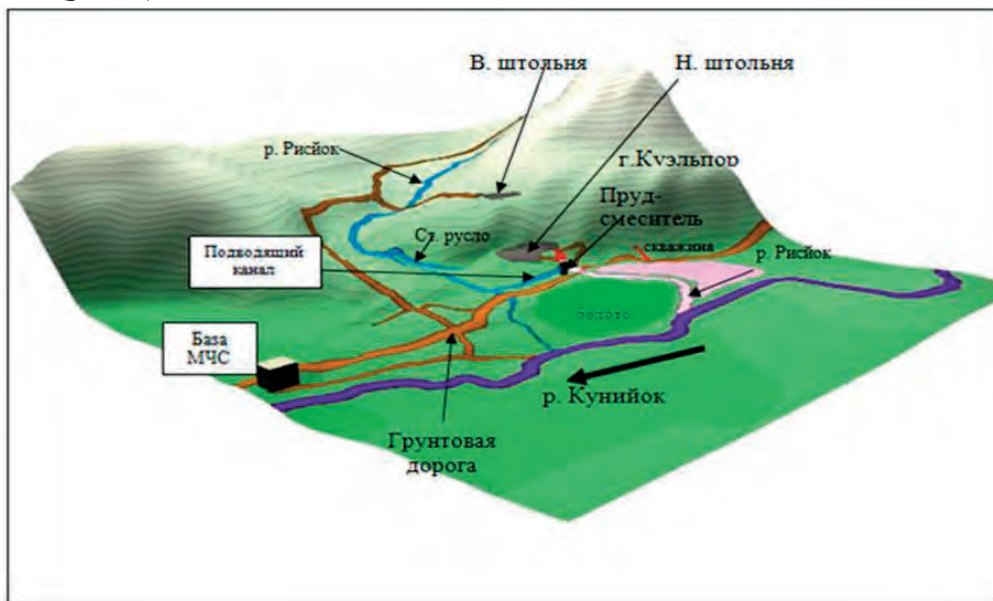


Рис. 3 – МЯВ «Днепр 1, 2». Схема разбавления трития после выноса с шахтными водами

Научные результаты данной работы – получение новых данных о миграции радионуклидов в различных природных средах и при разных глубинах залегания полостей взрыва, а также о путях миграции радионуклидов по пищевым цепочкам.

В связи с выходом постановления Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» в 2015 году с участием представителя Роспотребнадзора проведена первичная регистрация объектов МЯВ. В результате регистрации все объекты были квалифицированы как особые РАО, т. е. отходы, не подлежащие удалению. Таким образом, новый статус данных объектов требует изучения и прогнозирования радиоэкологической ситуации при длительном (сотни лет) их нахождения в местах взрыва и разработки новых документов по обеспечению радиационной безопасности в местах размещения особых РАО. Необходимо продолжение и логическое завершение научно-исследовательских работ в данной области, а также завершение работ по подготовке всего комплекса нормативно-методического обеспечения. Институт имеет опыт изучения и разработки подобных документов, подготовив в 2010 году Санитарные правила «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности на объектах хранения газового конденсата в подземных резервуарах, образованных с применением ядерно-взрывной технологии».

Предложения Института по продолжению работ по мирным ядерным взрывам в рамках ФЦП ЯРБ-2 были отклонены, хотя эти объекты, как нам представляется, непосредственно относятся к проблеме наследия атомной отрасли.

## **2 Обеспечение функционирования РГП и ЕСКИД. Обеспечение радиационной безопасности в медицине и при облучении природными источниками ионизирующего излучения**

Для обеспечения реальной гласности в области обеспечения радиационной безопасности, которую гарантировал федеральный закон «О радиационной безопасности населения», а также для обоснованного и грамотного планирования мероприятий по радиационной защите населения необходима достоверная, полная и общедоступная информация о состоянии радиационной безопасности населения субъектов Российской Федерации и России в целом. После принятия федерального закона «О радиационной безопасности населения», заложившего правовую основу радиационно-гигиенической паспортизации, необходимо было обеспечить практическую реализацию требований закона. Необходимо было разработать методическое, организационное и программное обеспечение радиационно-гигиенической паспортизации и обеспечить их практическое внедрение во всех субъектах Российской Федерации, чтобы превратить радиационно-гигиеническую паспортизацию в государственную систему оценки влияния основных источников ионизирующего излучения на обеспечение радиационной безопасности населения.

В результате выполнения ФЦП ЯРБ-1:

- созданы и обеспечивается успешное функционирование системы радиационно-гигиенической паспортизации радиационного объекта, территории и в целом Российской Федерации, а также единой государственной системы контроля индивидуальных доз облучения граждан России (ЕСКИД);
- разработаны и внедрены в практику нормативно-методические документы по организации, оптимизации проводимого в ее рамках радиационного мониторинга, распространению и практическому использованию результатов радиационно-гигиенической паспортизации и ЕСКИД, ежегодно издается Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации и Справочник «Дозы облучения населения Российской Федерации»;
- создана система информационного обеспечения управления радиационной безопасностью населения России и нормативного регулирования в этой области;
- разработаны и внедряются предложения по обеспечению эффективного взаимодействия радиационно-гигиенической паспортизации и ЕСКИД с другими государственными системами контроля и учета в этой области;
- создана организационная и методическая основа изменения системы регулирования обращения с источниками ионизирующего излучения, частичного перехода от разрешительной системы к системе декларирования безопасности.

В настоящее время радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации включает результаты радиационно-гигиенической паспортизации всех организаций и территорий, подведомственных органам исполнительной власти, имеющих органы государственного санитарно-эпидемиологического надзора: Роспотребнадзор; ФМБА России; Минобороны России; МВД России; ФСИН России; Управление делами Президента Российской Федерации; ФСБ России. Создано единое программное обеспечение и структура информационных потоков в системе ЕСКИД и радиационно-гигиенической паспортизации. Объем и качество данных, получаемых в рамках



радиационно-гигиенической паспортизации достаточны для использования в качестве информационной базы для регулирования радиационной безопасности на территориях, в том числе для оптимизации государственного санитарно-эпидемиологического надзора за радиационной безопасностью населения. Это объективный инструмент, с помощью которого администрация территории или радиационного объекта должна обоснованно планировать и осуществлять необходимые мероприятия по оптимизации радиационной безопасности населения.

В результате функционирования РГП и ЕСКИД мы ежегодно получаем данные о структуре и уровнях облучения населения страны (рис. 4). Из представленных на рис. 4 данных видно, что природные источники твердо занимают первое место (почти 87 %), далее идут медицинские источники, и незначительную долю составляют техногенный фон и техногенные источники – вместе около четверти процента.

В отдельных субъектах Российской Федерации вклад различных источников ионизирующего излучения может отличаться как за счет более высоких уровней природного, так и более высокого или низкого медицинского облучения.

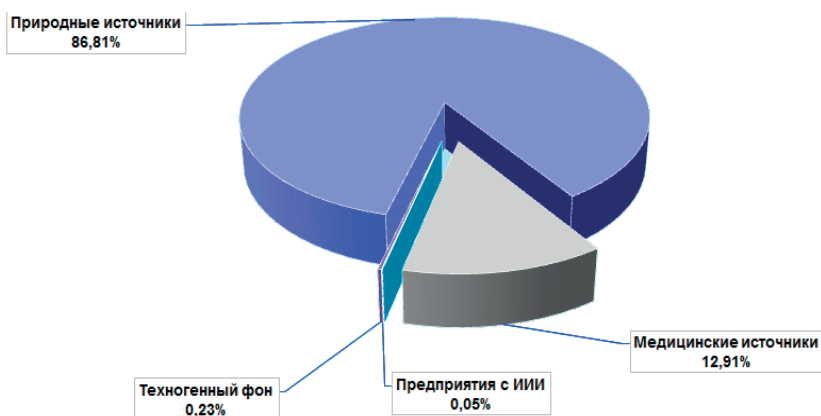


Рис. 4 – Вклад различных источников излучения в коллективную дозу облучения населения Российской Федерации в 2013 году

Даже в Брянской области, наиболее пострадавшей от аварии на Чернобыльской АЭС, облучение от природных источников ионизирующего излучения превышает 84 %, а облучение за счет глобальных выпадений и радиационной аварии составляет всего 2,5 % (рис. 5).

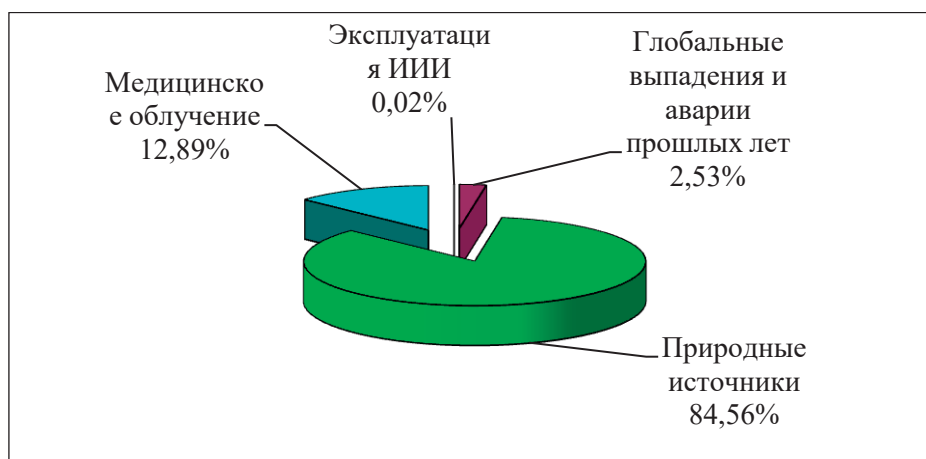


Рис. 5 – Структура доз облучения населения Брянской области

Основной вклад в природное облучение населения вносит радон, в среднем по России – чуть более 58 % (рис. 6), а в регионах с повышенной радоноопасностью, к примеру, Республика Алтай, его вклад может достигать 90 % и более.

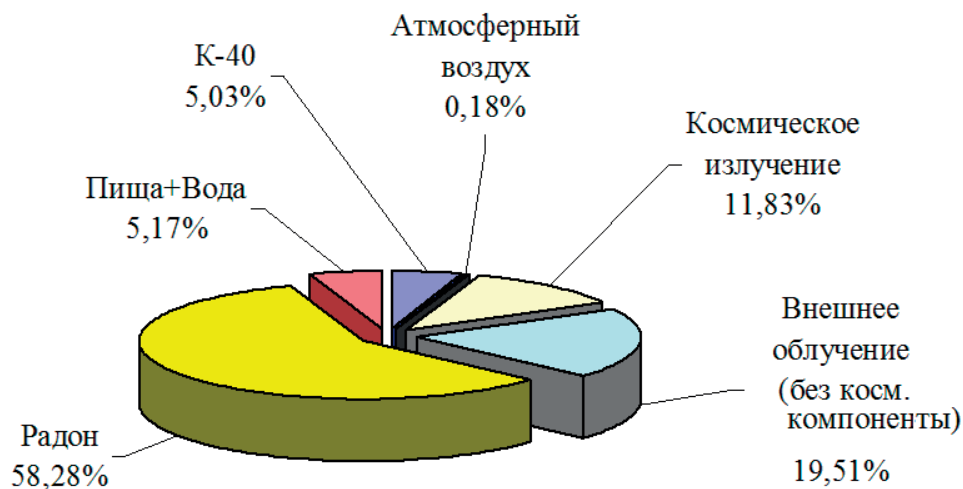


Рис. 6 – Структура средней дозы облучения населения РФ за счет природных ИИИИ

В среднем по России доза облучения за счет содержания радона в воздухе жилых и общественных зданий составляет около 2 мЗв (рис. 7). В регионах с повышенной радоноопасностью, например, в Республике Алтай, средние дозы по региону достигают почти 10 мЗв/год. В таблице 5 представлены регионы, в которых средние дозы облучения за счет природных источников превышают 5 мЗв.

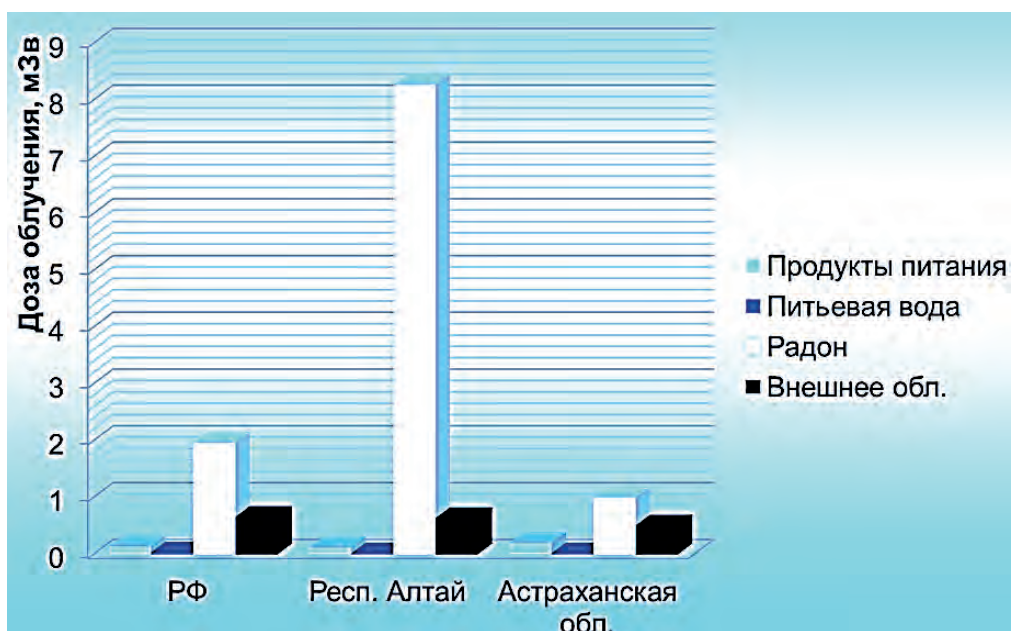


Рис. 7 – Сравнительная характеристика структуры доз природного облучения населения отдельных субъектов Российской Федерации

Таблица 5 – Субъекты Российской Федерации с повышенными дозами облучения жителей за счет природных источников ионизирующего излучения

Субъект РФ	Доза природного облучения, мЗв/год (по данным за 2001–2013 гг.)
Республика Алтай	9,48
Забайкальский край	6,81
Еврейская АО	6,78
Республика Тыва	5,64
Ставропольский край	5,54
Иркутская область	5,28

Нами выявлены группы населения, проживающие в отдельных районах городов или в небольших населенных пунктах, где дозы облучения превышают 30, 40, а то и 50 мЗв/год. Это г. Балей и г. Лермонтов, которые построены с использованием строительных материалов из хвостохранилищ (табл. 6).

Таблица 6 – Средние дозы облучения за счет ЭРОА изотопов радона отдельных групп наиболее облучаемых жителей в разных субъектах Российской Федерации

Субъект РФ	Доза, мЗв/год	Субъект РФ	Доза, мЗв/год
Республика Адыгея	42,69 ± 4,72	Калининградская область	11,88 ± 1,24
Республика Алтай	42,69 ± 5,09	Липецкая область	14,15 ± 2,73
Республика Калмыкия	11,15 ± 2,11	Ростовская область	49,67 ± 4,12
Республика Татарстан	8,22 ± 0,98	Томская область	25,26 ± 3,42
Алтайский край	19,53 ± 2,46	Тульская область	13,68 ± 1,65
Красноярский край	36,70 ± 3,12	Челябинская область	89,14 ± 22,3
Ставропольский край	51,53 ± 7,18	Забайкальский край	30,72 ± 8,65
Амурская область	17,27 ± 1,32	Москва	19,93 ± 0,42
Брянская область	8,29 ± 0,53	Санкт-Петербург	50,40 ± 1,24
Иркутская область	28,47 ± 3,10	Еврейская АО	48,01 ± 6,27

Таким образом, в Российской Федерации более 1 млн человек получает дозы природного облучения свыше 10 мЗв/год и около 10 млн человек получают дозы облучения от природных источников выше 5 мЗв/год. Следовательно, для 1 млн жителей России радиационный риск (вероятность заболеть злокачественным образованием) составляет порядка  $1 \times 10^{-3}$  и для 10 млн – порядка  $5 \times 10^{-4}$ .

К настоящему времени в Российской Федерации:

- создана уникальная система сбора данных обо всех компонентах природного облучения населения страны, на основе которой получена достаточно полная картина проявления природных источников излучения в отдельных субъектах Российской Федерации и стране в целом;

- выявлены отдельные места проживания населения на территории ряда субъектов Российской Федерации с повышенными и высокими уровнями облучения природными источниками излучения;
- разработана и внедрена гармоничная нормативно-методическая база для регулирования радиационной безопасности населения при воздействии природных источников излучения в производственных и коммунальных условиях.

К сожалению, продолжение работ по ограничению облучения населения природными источниками излучения в России в ФЦП ЯРБ-2 не вошло.

Для реализации действенной системы снижения уровней облучения населения Российской Федерации от природных источников облучения необходимо разработать и принять государственную целевую программу. Целью данной программы должно стать снижение дозы облучения населения групп повышенного риска облучения радоном ниже 10 мЗв/год, гарантировав им конституционные права на радиационную безопасность.

В нашей стране, как и в мире в целом, с каждым годом увеличивается число рентгенодиагностических исследований, и в настоящее время они составляют 1,8 на одного жителя России (рис. 8). При этом средняя доза на одного жителя страны на протяжении 4 последних десятилетий неуклонно снижается, составляя на сегодня порядка 0,45 мЗв/год.

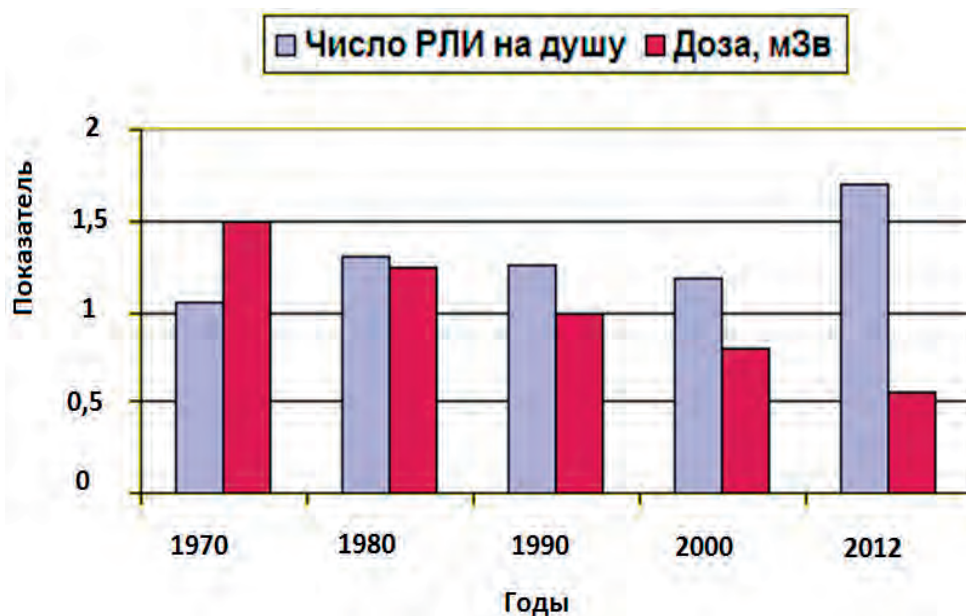


Рис. 8 – Динамика числа рентгенодиагностических процедур и дозы медицинского облучения населения России

Наибольший вклад в общее число диагностических исследований вносит рентгенография – 64 %, далее идут флюорография – 32 %, компьютерная томография (КТ) – 2,6 %, специальные исследования (СИ), в т.ч. интервенционные, – 0,4 %, а радионуклидная диагностика – лишь 0,2 %. Два вида относительно малоинформативных исследований – рентгенография и флюорография – в общей сложности составляют подавляющую часть (96 %) всех диагностических и профилактических исследований (рис. 9). Наиболее информативные КТ-исследования составляют лишь 2,6%, в то время как в других развитых странах их было 8% уже в начале 2000-х гг.

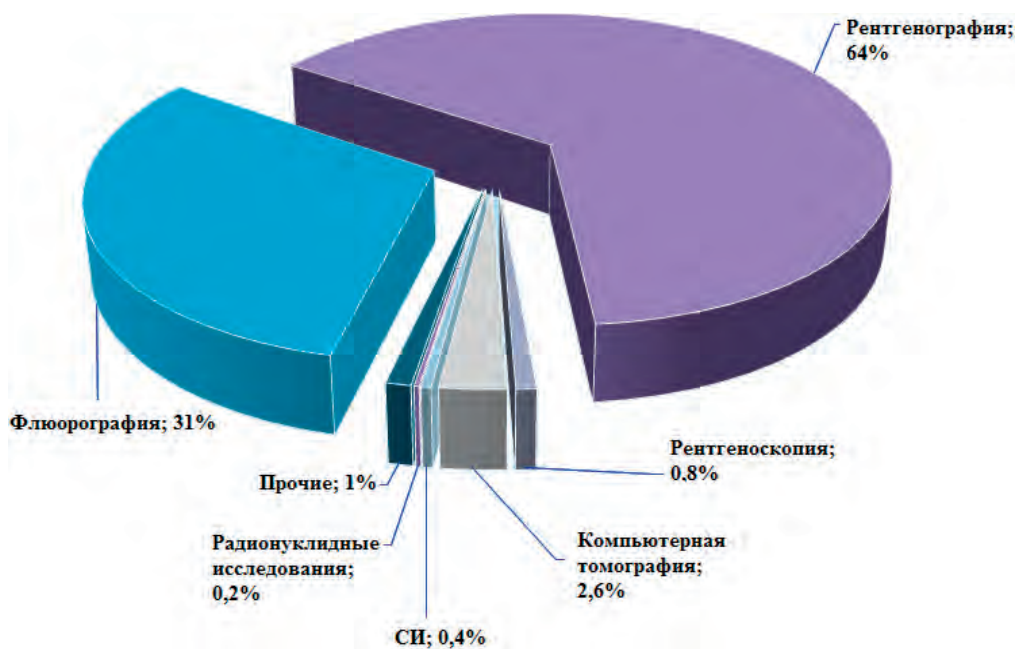


Рис. 9 – Вклад различных рентгенорадиологических процедур в общее число исследований

Однако наибольший вклад в коллективную дозу медицинского облучения дает как раз компьютерная томография – 35,2 %, составляя всего 2,6 % от общего числа исследований (рис. 10). Вклад КТ в коллективную дозу медицинского облучения за последние 9 лет вырос в 7 раз.

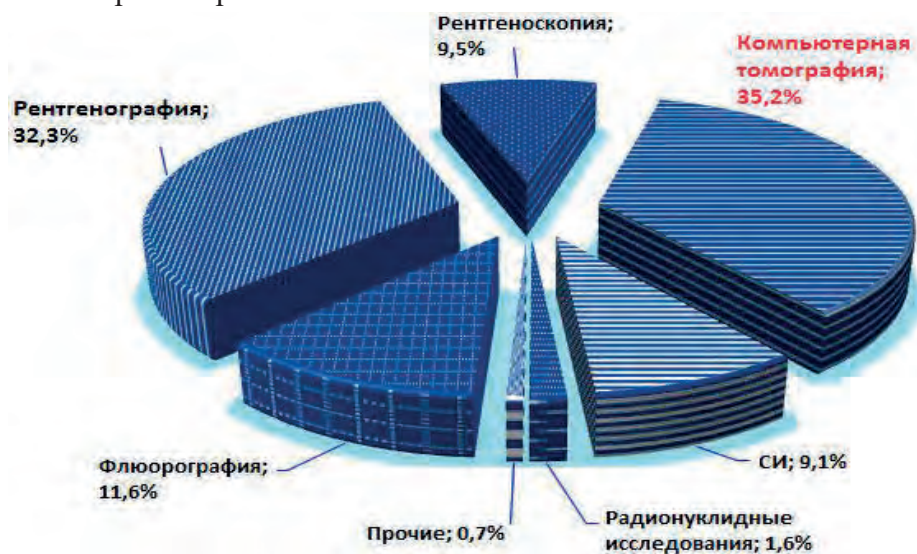


Рис. 10 – Вклад различных рентгенорадиологических процедур в коллективную дозу облучения населения России в 2013 году

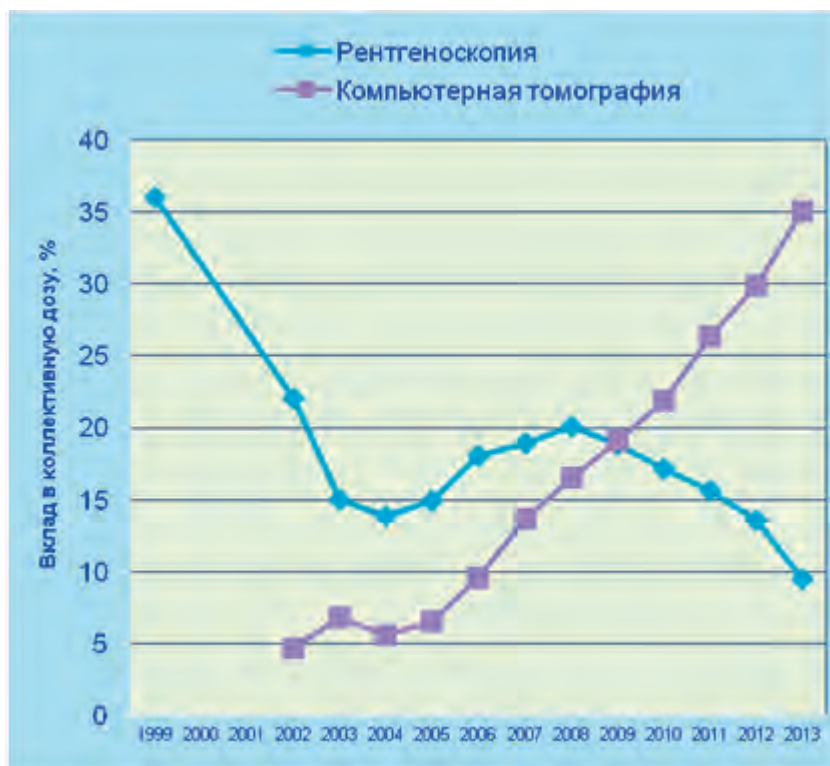


Рис. 11 – Динамика вклада КТ в коллективную дозу медицинского облучения населения России

Наибольшие индивидуальные дозы – в интервенционной радиологии, компьютерной рентгеновской и радионуклидной томографии (рис. 12). Диапазон средних доз составляет почти четыре порядка величины: от нескольких микрозивертов при рентгеностоматологических исследованиях до десятков миллизивертов при интервенционных и многофазных томографических исследованиях.

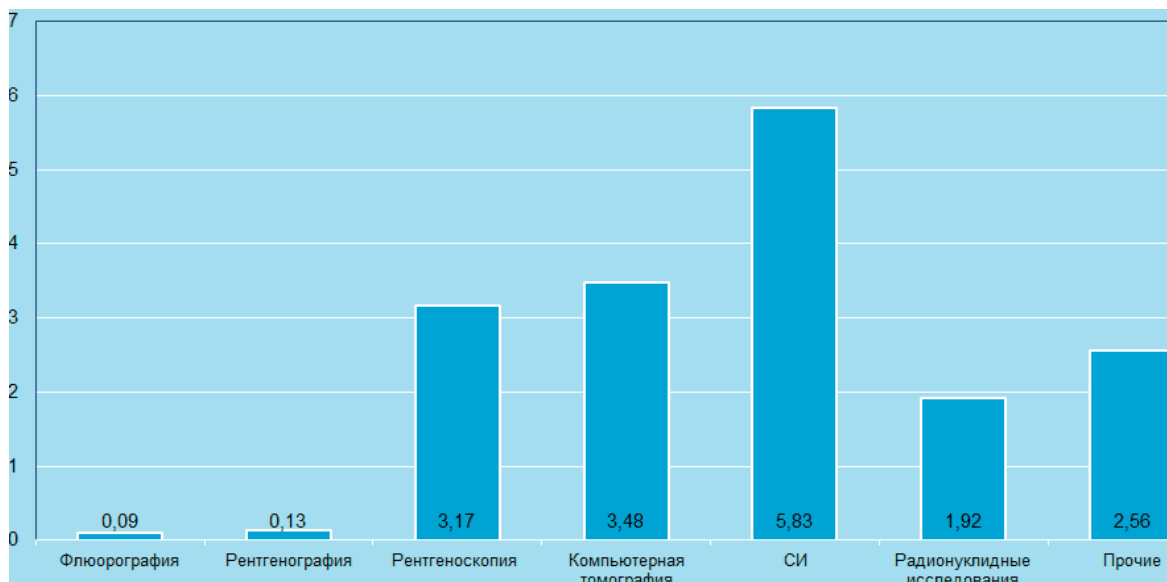


Рис. 12 – Средние дозы облучения пациентов при основных видах рентгенодиагностических процедур, мЗв

Во многих странах развитая медицина стала ведущим источником облучения населения, обнаружены вредные последствия для здоровья. В России объем применения

новых технологий пока отстает примерно на 10 лет, в этой связи ожидаем повышение уровней облучения пациентов в ближайшие годы. И это видно из того, как стремительно растет доля компьютерной томографии в коллективной дозе облучения населения России.

Коллективная доза медицинского облучения россиян в 2013 году составила 70362 чел.-Зв, что соответствует риску появления стохастических эффектов у более чем 4 тысяч человек, против 11 за счет деятельности предприятий атомной отрасли и других радиационных объектов.

Радиационная защита пациентов высоко актуальна в мире и России: снижение доз медицинского облучения всего на 2 % в год полностью компенсирует коллективную дозу на население России от всех техногенных источников излучения в остальных областях их применения, включая облучение от прошлых аварий.

Мировая и собственная практика показали, что наиболее эффективной мерой в снижении доз медицинского облучения является установление референтных диагностических уровней (РДУ). В 4 субъектах Российской Федерации, где Институтом в процессе выполнения ФЦП ЯРБ-1 были разработаны и рекомендованы РДУ, а администрацией они установлены, дозы медицинского облучения снизились на 10-22 %.

К сожалению, продолжение работ по ограничению облучения населения при использовании источников ионизирующего излучения в медицине также не вошло в ФЦП ЯРБ-2.

### **Заключение**

Обеспечение ядерной и радиационной безопасности населения при обращении с техногенными источниками облучения, в особенности ликвидация ядерного наследия, удаление и захоронение скопившихся радиоактивных отходов, повышение безопасности ядерных реакторов трудно переоценить. ФЦП ЯРБ-2 предусматривает гигиеническое сопровождение работ по реабилитации площадок, санитарно-гигиеническую экспертизу реабилитированных территорий и площадок, разработку нормативных документов, в том числе и критериев реабилитации.

С позиции гигиениста снижение радиационных рисков в результате облучения населения природными источниками излучения при применении техногенных источников и радиоактивных веществ в медицине имеют не меньшее значение, и это наглядно демонстрируют приведенные выше радиационные риски.

# ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЕГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПУНКТОВ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАО В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ФОРМАЦИЯХ

А. М. Никуленков, Л. Н. Синдаловский,

А. А. Шварц,

чл.-корр. РАН, д.г.-м.н. В. Г. Румынин

директор

*ИГЭ РАН, СПб Отделение; Институт наук о Земле СПбГУ,  
Санкт-Петербург*



Тема доклада посвящена горно-геологическим, инженерно-геологическим и гидрогеологическим проблемам безопасной изоляции радиоактивных отходов (РАО), более конкретно, прогнозированию радиационного воздействия на подземные воды и смежные среды в районах расположения проектируемых пунктов захоронения (в данном контексте, окончательной изоляции) РАО (ПЗРО), как важнейшего элемента функционирования предприятий ядерно-технологического и энергетического циклов. Эти пункты являются источниками техногенных радионуклидов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека.

## **Введение**

Появление первых значительных количеств радиоактивных веществ произошло в самом конце 1940 – начале 1950 годов и было связано с осуществлением в СССР Атомного проекта. Получение каждого грамма оружейного плутония сопровождалось образованием сотен кубических метров радиоактивных отходов, изоляция которых от воздействия на окружающую среду далеко не всегда должным образом обеспечивалась.

В 1958 г. было принято особое распоряжение Правительства СССР по легализации глубинного захоронения жидких РАО. По сути – политическое решение, которое до сих пор вызывает острые дискуссии, и весьма критическое отношение к данной технологии международных организаций в области ядерного регулирования.

Практически одновременно, в начале 1960 годов начали создаваться региональные приповерхностные хранилища РАО – сеть предприятий «Радон», не связанных непосредственно с военно-промышленным комплексом.

Все перечисленные объекты эксплуатируются до настоящего времени. В них содержится более 500 млн м<sup>3</sup> жидких РАО с суммарной активностью от 2 до 4 млрд Ки.

Понимая экологическую значимость проблемы, в 2011 г. была принята новая концепция обращения с РАО, оформленная в виде федерального закона (190-ФЗ от 11.07.2011 в ред. от 02.07.2013). Согласно этой концепции должен осуществиться переход от хранения РАО к их захоронению и окончательной изоляции, таким образом, чтобы не переносить бремя ответственности на последующие поколения. В настоящее время, следуя общим мировым тенденциям, рассматриваются два комплекса пород, наиболее перспективных для создания региональных ПЗРО – глинистые и кристаллические породы. Вопросам обоснования долговременной безопасности (ОДБ) этих объектов посвящена настоящая работа (доклад), в основе которой разноплановые инженерно-геологические и



гидрогеологические исследования, выполненные Институтом геоэкологии РАН за примерно 15-летний период.

К основным задачам ОДБ относятся: (1) определение зон потенциального выхода радиоактивности в биосферу, (2) прогнозирование миграции радионуклидов в растворенной и газовой фазах, и (3) экспериментальное обоснование параметров, контролирующих эти процессы. Факторы, определяющие ОДБ, можно разделить на две большие группы: природные и техногенные. Такая дифференциация довольно условна, но она является удобной в свете дальнейшего изложения материала.

### **1 ПЗРО в вендских глинах (Сосновоборский район Ленинградской области)**

На северо-западе Русской платформы широкое распространение имеют глинистые породы высокой степени литификации. К ним относятся котлинские глины ( $V_2kt$ ) вендской системы, согласно перекрывающиеся синими нижнекембрийскими глинами ( $\text{E}_1ln$ ). Глины картируются вблизи поверхности в пределах полосы к югу от Финского залива и на Карельском перешейке, а также в районе Санкт-Петербурга и его окрестностях.

На предпроектной стадии, в процессе изыскательских работ изучались свойства пород, которые можно условно подразделить на две группы [2]: (1) свойства, определяющие геотехнические условия строительства и эксплуатации хранилища; (2) свойства, контролирующие безопасность хранилища с точки зрения радиационного воздействия на подземные воды и сопредельные среды. Основной объем информации был получен в ходе бурения глубоких (до 180 м) скважин. Дополнительно проводились геофизические исследования, направленные в частности для выделения древних погребенных долей. Большой объем исследований выполнен в лабораторных условиях.

Анализ результатов лабораторного исследования керна позволил установить четкую закономерность в пространственном распределении физических и механических свойств изучаемой глинистой толщи. Как следует из графиков на рис. 1 а, верхняя зона (I) разреза (до глубин 40–50 м) представлена относительно влажными и разуплотненными породами. Нижняя зона (II) представлена более плотными и менее влажными породами. Уменьшение числа пластичности с глубиной (рис. 1 б) указывает на возрастание с глубиной доли песчаной фракции, которая становится преобладающей на глубинах 100 и более м: породы становятся хорошо проницаемыми, образуя вендский водоносный комплекс.

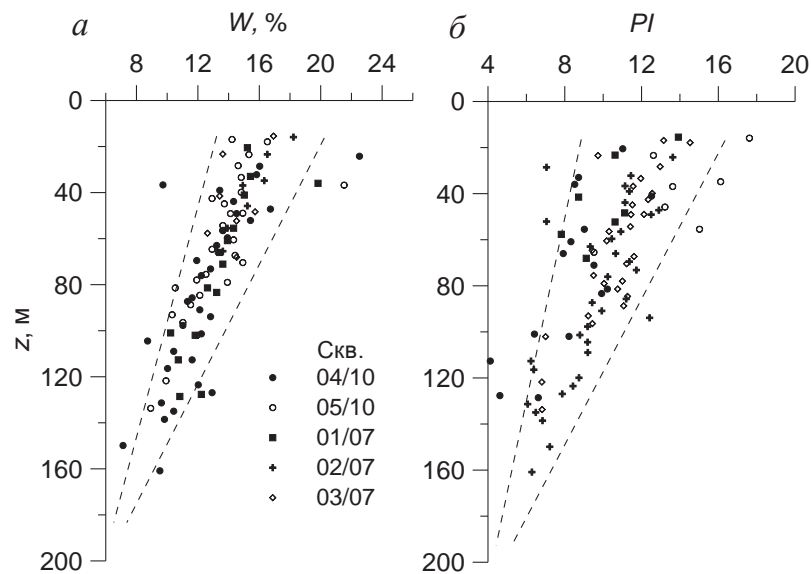


Рис. 1 - Изменение влажности (а), числа пластичности (б), с глубиной (глины Vkt)

Анализ данных стабилметрических испытаний выявил явную тенденцию увеличения крепости пород с глубиной (рис. 2). С глубиной меняются также деформационные свойства пород. Так, рост модуля общей деформации говорит о снижении степени сжимаемости пород на больших глубинах (зона II) по сравнению с приповерхностной зоной (I).

Выявленная пространственная изменчивость параметров позволила выбрать оптимальные глубины заложения подземных горных выработок.

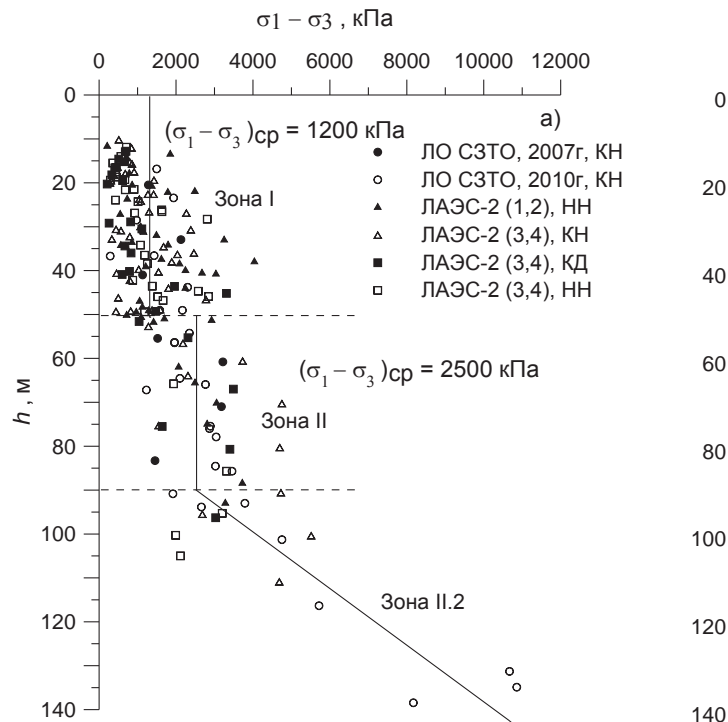


Рис. 2 - График зависимости разности осевых разрушающих и объемных напряжений  $q_p = \sigma_1^p - \sigma_3^p$  от глубины отбора образца. Обобщенные данные КД, КН и НН испытаний

Отобранные с различных интервалов пробы глин использовались в экспериментах по изучению диффузии и сорбции таких радионуклидов как Sr-90, Cs-137, Am-241, Pu-239, 240. Полученные диапазоны изменения коэффициента сорбционного распределения,  $K_d$ , для различных радионуклидов существенно различаются (рис. 3). Кроме того, отчетливо видно, что значения  $K_d$ , полученные для нижней зоны разреза (глубже 100 м), представленной вендскими песчаниками, заметно ниже. Наименее сорбируемым является Sr-90, наиболее – Am-241 и Pu-239, 240; Cs-137 занимает промежуточное положение.

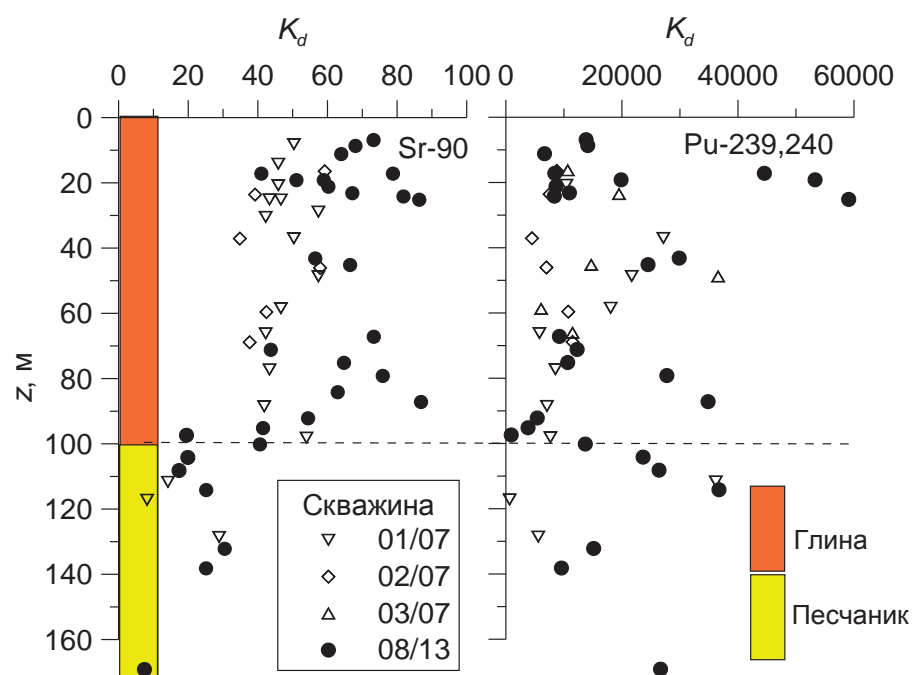


Рис. 3 - Пример изменения коэффициента  $K_d$  ( $\text{см}^3/\text{г}$ ), характеризующего сорбцию Sr-90 и Pu-239, 240, по мощности. Значки отвечают различным скважинам

Выполненные работы дают параметрическую основу для создания комплекса математических моделей. Моделирование миграционных процессов в рамках ОДБ позволило оценить пространственно-временные масштабы диффузии в глинистой толще в постэксплуатационный период (штатный режим функционирования ПЗРО), а также оконтурить поля радиоактивного загрязнения вендского горизонта (аварийный сценарий, связанный с нарушением целостности массива пород). И в том, и в другом случае воздействие не выходит за допустимые пределы.

## 2 ПЗРО в гранито-гнейсовом массиве (участок Енисейский, Красноярский край)

Массивы кристаллических пород также рассматриваются сейчас как среда, достаточно перспективная для окончательной изоляции РАО. В настоящее время можно выделить 10 зарубежных объектов, где делались или делаются попытки реализации соответствующих проектных решений. Отметим общие тенденции и определенные закономерности: (1) получение лицензии на эксплуатацию предшествует стадия создания подземных исследовательских лабораторий (ПИЛ); (2) большинство объектов расположены с зоне транзита и разгрузки ПВ; (3) проницаемость массивов Е-3–Е-4 м/сут; (4) на уровне целевых интервалов присутствуют воды с повышенной минерализацией (что свидетельствует о замедленном водообмене в толщах пород).

В РФ уже в начале 1990-х годов Нижнеканский гранитоидных массив стал рассматриваться как достаточно перспективный с позиций его «изолирующих» свойств. Этот массив находится на сочленении двух крупных азиатских геологических структур – Западно-Сибирской и Восточно-Сибирской плит. В период с 1992 по 2005 гг. были выполнены различные геологические работы на нескольких участках. Перспективным для дальнейшего изучения был признан участок «Енисейский».

Планомерное изучение этого участка началось в 2008 г. силами ОАО «Красноярскгеология» (поисковая и оценочная стадии) [1]. Общий объем бурения скважин глубиной 600–700 м превысил 7.5 тыс. погонных метров; из гидрогеологических скважин произведены поинтервальные откачки (через 50 м) – более 150 опытов; бурение скважин сопровождалось полным комплексом скважинного каротажа, включая расходомерию и резистивиметрию. Площадные (наземные) геофизические работы включали магнитную съемку, электроразведку методом ВЭЗ, а также сейсморазведочные работы.

В геоморфологическом отношении участок расположен на водоразделе двух рек Енисей и Кана. В структурном отношении – это гидрогеологический массив трещинных и трещинно-жильных вод, что согласно классическому определению, отвечает условию совпадения областей питания и их распространению, т.е. гидрогеологическая структура является открытой. Такой массив, опять-таки с позиций традиционной гидрогеологии, должен характеризоваться наличием двух гидродинамических зон – верхней (активного) и нижней (замедленного) водообмена. С верхней зоной связаны локальные потоки ПВ, контролируемые топографическими особенностями рельефа и дренирующим влиянием водотоков второго и третьего порядков. С нижней зоной – региональный фильтрационный поток. Проектируемый объект (ПЗРО) располагается примерно в осевой части структуры на отметках ниже регионального базиса дренирования.

Предложенная нами совместно с ОАО «Красноярскгеология» концепция безопасности создания объекта на «Енисейском» участке основывается на постулате о разобщенность фильтрационных потоков нижней и верхней зон гидрогеологического разреза, что обеспечивает защищенность верхней зоны разреза от загрязнения радиоактивными растворами. В частности, доказательством такой разобщенности являются: (1) падение гидростатических напоров по глубине на водоразделе и (2) корреляция гипсометрической поверхности подземных вод и рельефа.

С другой стороны, приемлемость создания ПЗРО определяется проницаемостью массива. Интерпретация поинтервальных гидрогеологических опробований указывает, что коэффициент фильтрации убывает с глубиной [1]. На глубинах 0–100 м наиболее часто отмечаются коэффициенты фильтрации  $5 \cdot 10^{-3}$  м/сут, а в интервале 100–200 м средние значения уже в 5 раз меньше. Глубже 200 м происходит постепенная стабилизация значений коэффициента фильтрации в пределах  $1 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-4}$  м/сут.

Данные гидрогеологической разведки послужили основой для создания 3D математической модели объекта (рис. 4). Внешние границы модели совпадают с границами водосборной площади, оконтуренной в плане осевыми линиями хребтов. Внутренние гидродинамические границы I и III рода – контур береговой линии р. Енисей (региональная зона разгрузки потока подземных вод) и локальные водотоки (р. Шумиха, руч. Безымянный и Байкал). Оценка интенсивности инфильтрации выполнена по значениям регионального модуля подземного стока. Профиль проницаемости данной

трехмерной модели аппроксимировался четырьмя слоями. Проницаемость каждого из слоев отвечала значению проницаемости соответствующего слоя, установленного как результат обобщения данных поинтервальных опытных опробований. Абсолютные отметки кровли и подошвы задавались линейно коррелированными с абсолютными отметками рельефа поверхности, так что мощности слоев варьировали в довольно широком диапазоне значений. Главное достоинство такого подхода заключается в том, что задаваемая таким образом ундуляция отметок подошвы первого от поверхности слоя, в котором находится урвненная поверхность подземных вод, позволяет достаточно корректно представить в модели верхнюю зону разреза, сложенную выветрелыми породами с повышенной проницаемостью. Далее проводилась фрагментация каждого из четырех слоев на несколько модельных слоев меньшей мощности, морфология кровля и подошва которых были подобны описанным базовым слоям, что также является наиболее принципиальным моментом, позволяющим наиболее корректно отразить положение поверхности безнапорного потока и избежать нежелательных численных эффектов при решении математической задачи.

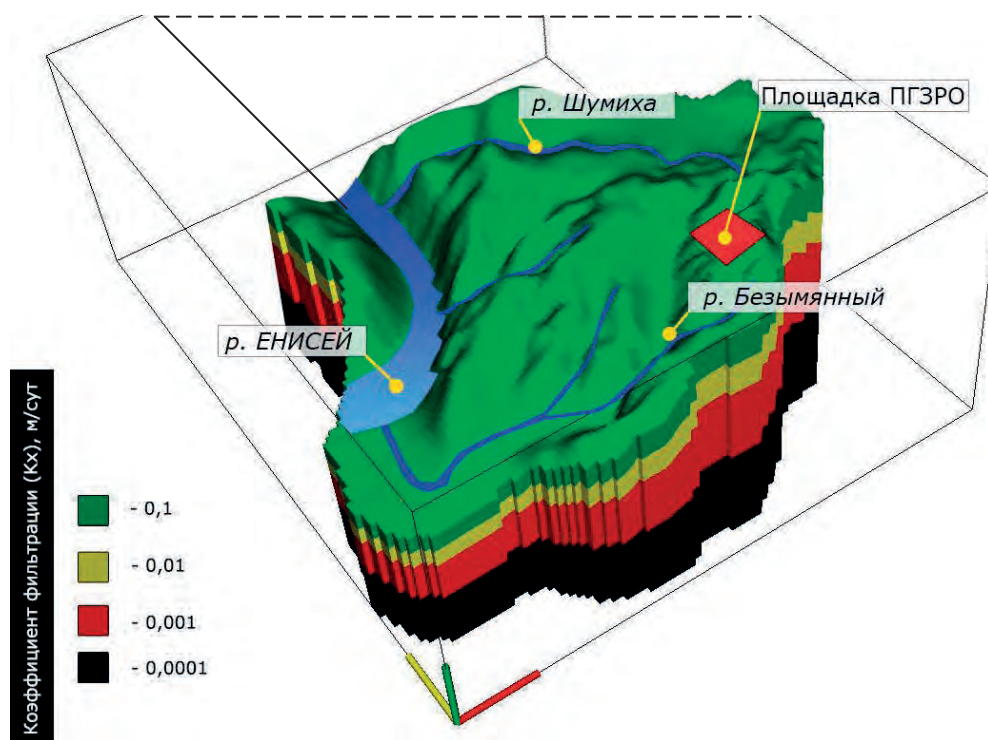


Рис. 4 - Концептуальная схема 3D гидрогеологической модели

Калибровка модели осуществлялась на основе сопоставления модельных расчетов с данными гидрогеологического опробования толщи, мониторинга распределения напоров, а также с результатами гидрологических исследований на водотоках.

Моделирование показало, что река Шумиха и ручьи (Безымянный, Студеный) оказывают дренирующее влияние на водоносные породы только в верхней части разреза. На более низких абсолютных отметках, в частности совпадающих с проектными отметками заложения инженерного объекта (ПГЗРО), такое влияние отсутствует: подземные воды транзитом проходят этот участок и разгружаются в р. Енисей.

Наконец, современные методы моделирования позволяют оконтурить зоны захвата потока природными или искусственными дренами. Характерный пример представлен на

рис. 5, на котором отмечается эффект разделения потоков в верхней и нижней зонах водоносной толщи.

Главным выводом такого моделирования в трехмерной постановке является доказательство отсутствия восходящего потока подземной воды на участке размещения объекта (ПГЗРО), который мог бы потенциально повлиять на мелкую речную сеть. Речки дренируют верхнюю зону разреза, и радионуклиды не могут попасть в эти речки из ПГЗРО. Видно, что воды, проходящие через инженерный объект, формируются на водораздельном участке. Очевидно, что при такой фильтрационной картине наличие субвертикальных зон с резко повышенной проницаемостью (например, связанных с контактом даек и гнейсов, присутствие которых нельзя исключить), не должно сколько-нибудь заметно снизить показатели защищенности грунтовых вод при радиоактивном загрязнении нижних зон разреза на постэксплуатационной стадии.

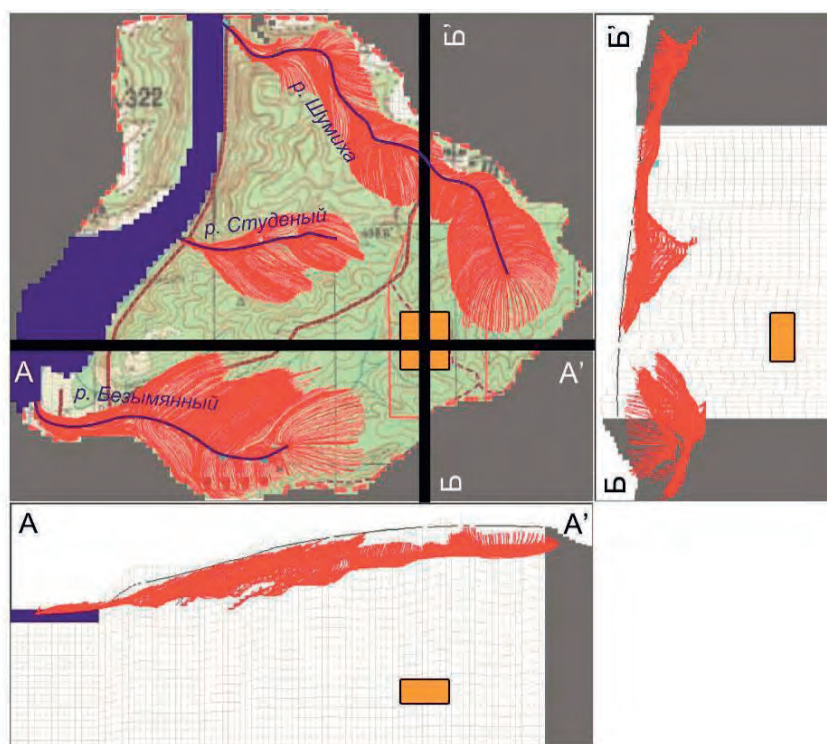


Рис. 5 - Зоны захвата инфильтрационных вод поверхностными водотоками (прямоугольник – условный контур объекта)

В ПГЗРО планируется размещение отходов 2 класса в горизонтальных горных выработках, а 1 класса (тепловыделяющие РАО) – в вертикальных скважинах. Перечень радионуклидов, потенциально участвующих в загрязнении подземных вод в постэксплуатационный период, довольно широк (I-129, Sr-90, H-3, Tc-99, Se-79, U-238, Cs-137, Cs-135, Am-243, Pu-239). Наиболее опасными являются слабосорбируемые и долгоживущие радионуклиды, такие как I, Se, Tc, Cs. Наряду с тепловыделением, возможна газогенерация за счет коррозии материалов. Процессы физико-химических взаимодействий, в частности, сорбции, здесь не рассматриваются.

Наибольший интерес представляют расчеты, отвечающие максимально консервативному сценарию воздействия на подземную гидросферу в постэксплуатационный период. Этому сценарию отвечает миграция наиболее опасного загрязнителя – I-129, характеризующегося низкой химической активностью (коэффициент

сорбционного распределения близок к 0), весьма продолжительным периодом полураспада ( $T_{1/2} = 1.57 \times 10^7$  лет), низкой эффективностью задержки этого радионуклида инженерными барьерами. Влияние разогрева массива и газовой компоненты на массоперенос рассматривается в рамках специальных модельных построений (см. далее).

Математическая формализация внутрипластового обмена отвечает неравновесной модели среды с двойной пористостью (емкостью), получившая в русскоязычной литературе название модели «с сосредоточенной емкостью» [2]. Она предполагает линейную связь величины массового потока через поверхность блока с разностью концентрации в трещинах и средней концентрации в блоках. Поэтому кинетика вовлечения пористой матрицы в обменный процесс определяется коэффициентом пропорциональности [2, 4]

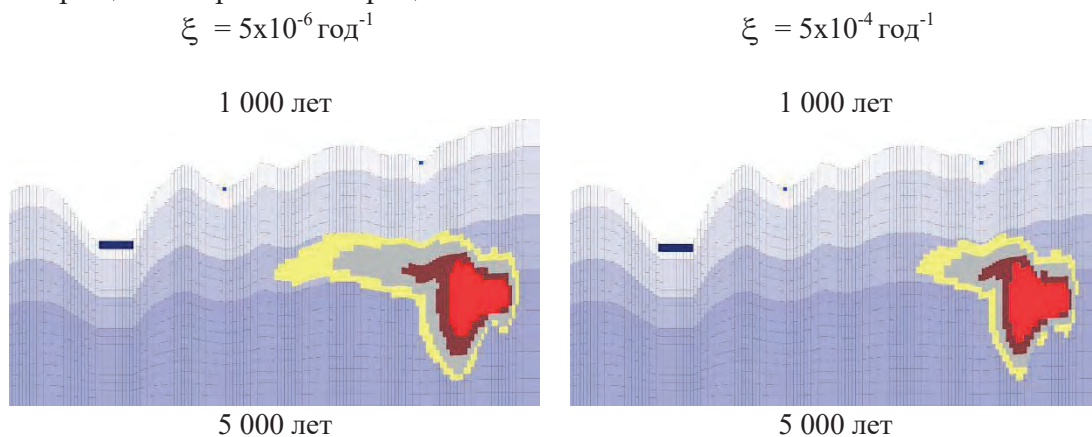
$$\xi = S_b^2 D_e,$$

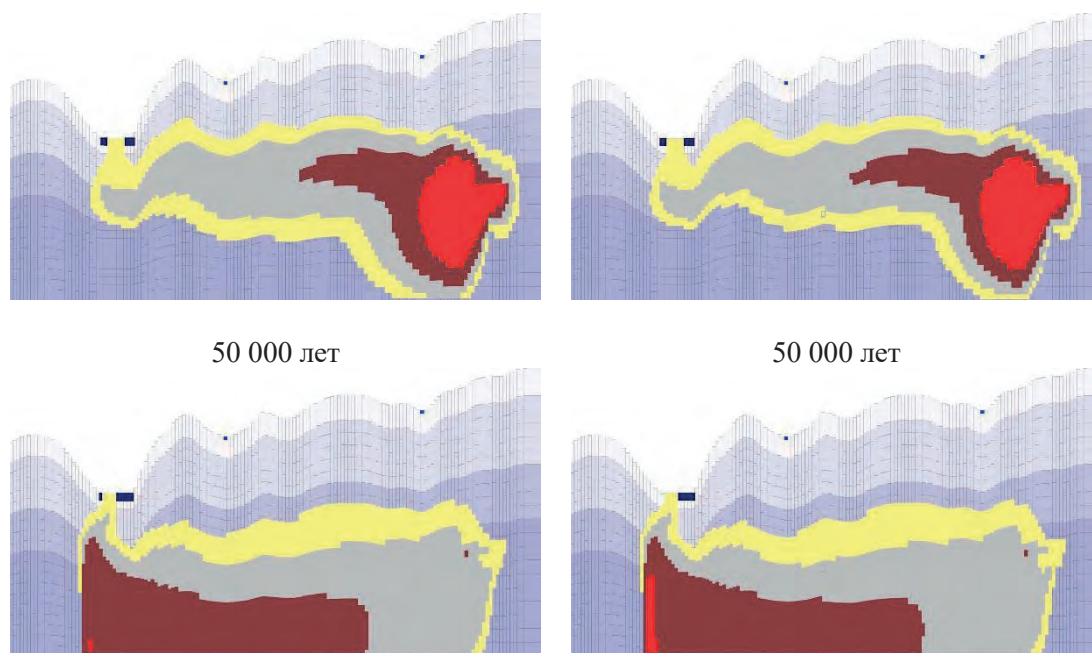
получившим название коэффициента скорости массообмена. Здесь:  $S_b$  – удельная поверхность трещин, рассчитываемая исходя из среднего размера породного блока ( $m_b$ ) примерно изометрической формы:  $S_b \approx 6/m_b$ ; при  $m_b = 1-2$  м –  $S_b \approx 3-6$  м<sup>-1</sup>;  $D_e$  – эффективный коэффициент диффузии; лабораторные исследования диффузии радионуклида I-129 через образцы гнейса дают значения этого коэффициента в интервале:  $0.03-2 \times 10^{-12}$  м<sup>2</sup>/с =  $9.5 \times 10^{-7}-6.3 \times 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/год.

Таким образом, диапазон возможных вариаций расчетного значения параметра  $\xi$  довольно широк и для выбранного радионуклида (I-129) составляет ориентировочно от  $5 \times 10^{-6}$  до  $5 \times 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>.

Емкостные характеристики массива:  $\varphi_f = 3 \cdot 10^{-3}$  – трещиноватость;  $\varphi_m = 3 \cdot 10^{-3}$  – пористость матрицы.

Ореолы загрязнения (рис. 6, относительные концентрации), полученные в предпосылке сосредоточенной емкости при крайних значениях массообменного параметра, различаются на начальных этапах развития миграционного процесса в водоносном массиве: наблюдаются несколько повышенные скорости миграции в трещинах массива при низких значениях  $\xi$  ( $= 5 \times 10^{-6}$  год<sup>-1</sup>). Эти различия сглаживаются при достижении фронта загрязнения зоны разгрузки. Это значит, что пространственно-временные масштабы процесса удовлетворяют условию выравнивания концентраций в системе трещин и пористой матрицей.





*Рис. 6 - Конфигурация ореола загрязнения I-129 в относительных концентрациях; время указано с момента выхода за пределы СИБ; фон - зоны фильтрационной неоднородности*

На заключительном этапе, в рамках решения сопряженной задачи двухфазной фильтрации и теплопереноса, выполнялся прогноз последствий газогенерации и тепловыделения. Необходимость обращения к двухфазным моделям объясняется: (1) проявлением эффекта всплывания газа как более легкой фазы, (2) различиями в фазовой проницаемости массива (для газа и воды); (3) растворением газа в воде и его быстрым транспортом в растворенной форме. Фильтрационная структура модели, созданная на основе программного кода TOUGH2 [3], унаследовала основные черты ранее рассмотренной модели.

Интенсивность продуцирования водорода, как наиболее вероятного газа, рассчитывалась в рамках специализированных программ. Тепловыделение происходит за счет радиоактивного распада, мощность соответствующего источника рассчитывалась по суммарной активности различных радионуклидов.

Расчеты показали, что тепловыделение в хранилище характеризуется затухающей во времени экспоненциальной функцией. Максимальная температура в ПЗРО, достигаемая через 55–65 лет после закладки РАО, составляет 80–90 °С. Тепловой ореол в массиве имеет сферическую форму на протяжении всего времени, что свидетельствует о доминировании в кристаллическом массиве механизма кондуктивного (диффузионного) теплопереноса над конвективным. Размеры теплового ореола менее 100 м. Формируемая тепловым полем циркуляционная ячейка не влияет существенно на поле скоростей фильтрации, так что выполненные ранее миграционные расчеты в изотермической постановке не нуждаются в серьезных коррективах.

Результаты моделирования показывают, что газовая фаза распространялась от ПЗРО в вертикальном направлении, практически не выходя за его периметр. Примерно за 100 лет ореол нерастворимого водорода стабилизировался, поднявшись на абсолютные отметки 220 м – около 200 м ниже земной поверхности. Насыщенность водорода



незначительная и не превышает  $10^{-4}$ . Выхода газа на дневную поверхность не происходит, он переходит в растворенную форму.

Растворенная газовая фаза (рис. 7) представляет наибольший интерес, поскольку масштаб распространения растворенной части водорода значительно превышает ореол распространения газовой фазы. Моделирование показывает, что в верхних (более проницаемых) частях разреза растворенный водород вовлекается в движение вместе с подземными водами в преимущественно горизонтальном направлении. Его концентрация в районе ПГЗРО достигает 88 мг/л.

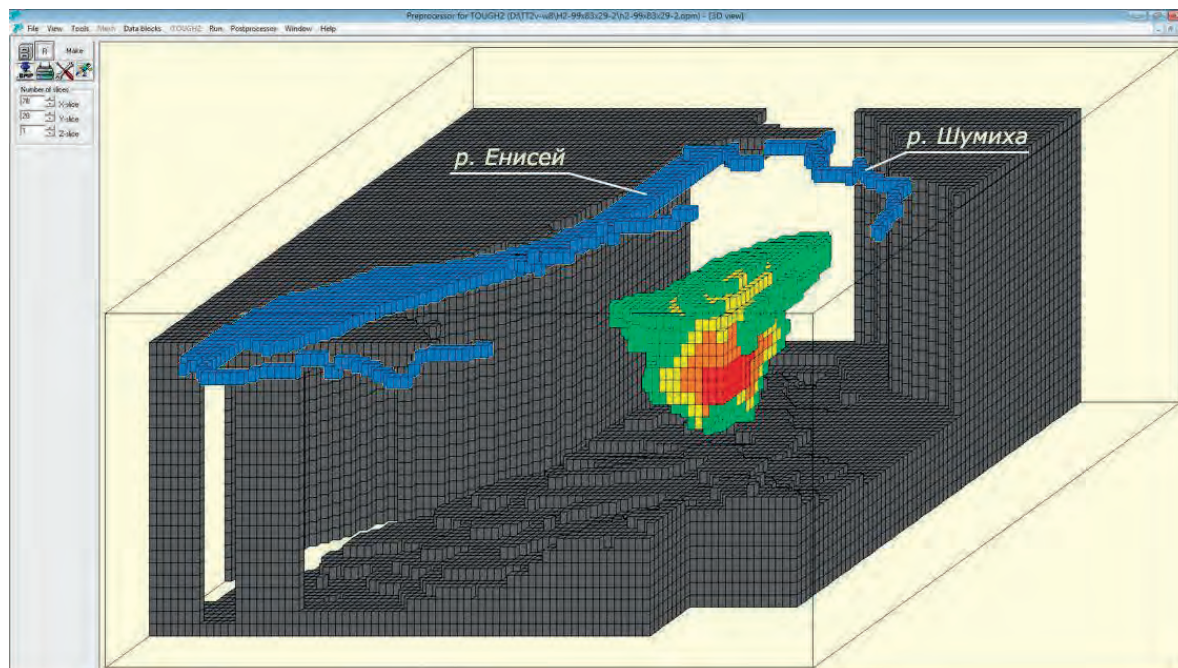


Рис. 7 - Ореол загрязнения подземной гидросферы водородом (растворенная форма)

## Заключение

Таким образом, предварительный анализ указывает на отсутствие факторов, являющихся неблагоприятными с позиций ОДБ двух рассмотренных объектов. Повышению достоверности данного вывода может послужить дальнейшее изучение геолого-гидрогеологических условий, механизмов и параметров, контролирующих перенос радионуклидов в массиве горных пород, а также развитие математического аппарата. Так, для обоснования всех проектных решений актуальным представляется интеграция локальных моделей процессов в инженерном объекте (ближняя зона) и мелкомасштабной региональной модели (дальняя зона), а также калибровка моделей с использованием дополнительной информации (изотопы, гидрология, ДДЗ), сопровождающая анализом чувствительности. Особое значение имеет учет физико-химических преобразований, многокомпонентности раствора, в частности, коллоидных форм. Для ПГЗРО в гранито-гнейсовом массиве принципиальным является использование и разработка моделей нового поколения, учитывающих невыполнение принципа континуума («дискретный/каналовый» характер течения жидкости и газа в трещиноватой среде).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Озерский А.Ю., Караулов В.А.* Гидрогеологические исследования при изысканиях для подземного строительства в пределах массива кристаллических пород в южной части Енисейского кряжа. Инженерные изыскания. 2012, № 11 с. 52–61.
2. *Румынин В.Г.* Геомиграционные модели в гидрогеологии. СПб: Наука, 2011.
3. *Pruess K., Oldenburg C., Moridis G.* TOUGH2 – User's guide. v.2.0, LBLN-43134, 1999.
4. *Zheng C.* MT3DMS. A modular three-dimensional multispecies transport model. v.5.3, University of Alabama, 2010.

## РАДИОЭКОЛОГИЯ И ВОПРОСЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ

академик РАН Р. М. Алексахин  
директор  
*ВНИИРАЭ, г. Обнинск*



Исторически радиоэкология как область естествознания изучает в экспериментальном и теоретическом планах закономерности миграции радионуклидов в природной среде и действия ионизирующих излучений на живые организмы в среде их обитания (биоту). В прикладном аспекте в сферу радиоэкологии входит решение актуальных задач, связанных с обеспечением экологической состоятельности и радиационной безопасности биоты в различных ситуациях при использовании ядерной энергии.

В рамках решения радиоэкологических проблем атомной отрасли, в практическом ракурсе, прежде всего в отношении ядерной энергетики, к числу основных вопросов на современном этапе следует отнести следующие:

- обращение с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом;
- радиоэкологические аспекты аварий с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду (последствия и контрмеры);
- так называемые «отложенные проблемы ядерного наследия», т. е. вопросы, связанные с прошлой деятельностью (в первую очередь ядерно-оружейного комплекса и радиационными авариями) и выведением радиоактивных веществ в окружающую среду без своевременного последующего полномасштабного радиационного мониторинга природной среды и выполнения адекватных защитных (реабилитационных) мероприятий;
- снятие с эксплуатации ядерных объектов, значимость которого в ближайшие годы будет возрастать в свете предстоящего увеличения числа объектов ядерной энергетики, подлежащих декомиссии.

В решении вопросов управления РАО и ОЯТ традиционно важным направлением являются переработка РАО и ОЯТ с целью снижения их химической подвижности и биологической доступности, а также изыскание мест хранения, обеспечивающее минимизацию потенциального включения радионуклидов в трофические цепи транспорта. В этом отношении существенную роль играет использование методов моделирования миграции радионуклидов в окружающей среде.

В решении проблемы РАО и ОЯТ несомненный практический интерес представляет развитие инновационного энергопроизводства с использованием быстрых реакторов и замыканием ядерного топливного цикла (выполнение Федеральной целевой программы «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 годов и на перспективу до 2020 года», в частности, программы «Прорыв»). Применительно к решению проблем РАО и ОЯТ переход от открытого ядерного топливного цикла к закрытому позволит выполнять трансмутацию биологически опасных радионуклидов и направлять на хранение РАО с радионуклидным составом, более «дружественным к

биосфере». Проработки требует и метод радиэкологически эквивалентного обращения с РАО, что позволит гармонизировать изъятие из окружающей среды природных радионуклидов (ядерного топлива) и захоронение долгоживущих высокоактивных отходов на эквивалентной основе.

В рамках развития концепции радиационной эквивалентности при обращении с РАО в последнее время оценены роль и количественные параметры миграции основных природных радионуклидов из уранового семейства и ведущих искусственных радионуклидов (прежде всего из числа минорных актинидов) соответственно из рудных тел и мест захоронения РАО и их выхода на дневную поверхность (концепция трансформировалась в концепцию радиационно-миграционной эквивалентности). Кроме того, признано необходимым вести сравнение радиационного воздействия от природных радионуклидов и РАО не только на человека, как делалось ранее, но и на представителей биоты. Мотивация такой необходимости доказана значительным превышением доз облучения для представителей биоты относительно доз облучения человека (в десятки раз и более). Это дало основание ещё раз уточнить название – концепция стала радиэкологической эквивалентностью. Кроме того, для человека дозы облучения от природных радионуклидов уранового и ториевого семейств и РАО оценены более полно с учетом максимального учёта возможных путей радиационного воздействия.

В современных концепциях развития ядерной энергетики в качестве основополагающего предлагается рассматривать тезис об исключении тяжелых радиационных аварий, которые предполагали бы ограничение хозяйственной деятельности и тем более отселения населения как результат аварийного радиоактивного загрязнения окружающей среды. Для достижения этой цели в атомной отрасли предпринимаются разноплановые мероприятия (прежде всего совершенствование радиационной безопасности на АЭС).

Вместе с тем исторический анализ крупных радиационных аварий с выбросом радиоактивных веществ в природную среду (Кыштым, 1957; Уиндскейл, 1957; Чернобыль, 1986; Фукусима, 2011) убедительно свидетельствует об обязательности анализа последствий проектных и запроектных аварий (сейчас даже говорят о «запредельных запроектных авариях»). Опыт ликвидации последствий упомянутых аварий позволяет сделать три вывода. Во-первых, объективная оценка последствий этих аварий на разных этапах её выполнения, с анализом и учетом всей действительной тяжести аварийных событий, как правило, сопровождается переоценкой этой тяжести, как следствие ряда конъюнктурных соображений (политические мотивы, социальные факторы). Убедительным подтверждением корректности этого положения являются разящие отличия в прогнозах и реалиях Чернобыльской аварии (когда смертность людей от радиационного воздействия прогнозно в первый период аварии оценивали тысячами и даже миллионами людей).

Во-вторых, крупномасштабные радиэкологические исследования в регионах аварий позволили выработать обоснованную и выверенную на практике систему защитных мероприятий по ограничению, а в некоторых случаях и исключению негативных последствий таких аварий, а также разработать программу реабилитационных мероприятий.

И, наконец, в-третьих. При поступлении радионуклидов в окружающую среду следует выделять два вида радиационных последствий – радиоактивное загрязнение

объектов окружающей среды до уровней, не ведущих к их радиационному повреждению, и собственно радиационное поражение растений и животных, когда присутствие в окружающей среде радионуклидов достигает количеств, которые ведут к поражению представителей биоты.

Основная парадигма радиоэкологии, сформулированная из опыта ликвидации последствий указанных выше радиационных аварий, а также на основании ранних теоретических и экспериментальных исследований В. М. Ключковского, гласит, что зона, где наблюдается прямое лучевое поражение биоты, существенно меньше ареала, в котором необходимо ограничение хозяйственной активности человека (вплоть до его отселения) из-за превышения санитарно-гигиенических стандартов допустимого содержания радионуклидов в объектах окружающей среды (в первую очередь, в сельскохозяйственной продукции). Основной причиной указанных различий в нормативах допустимого облучения представителей живой природы относительно человека является более жесткое санитарно-гигиеническое нормирование воздействия ионизирующих излучений относительно экологического нормирования (ограничение облучения биоты). Конечно, важно и то, что человек является одним из наиболее радиочувствительных организмов в мире живых существ.

В плане выполнения решения «отложенных задач ядерного наследия» успешный многолетний опыт реализации ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» показал, что основным направлением реабилитационных мероприятий на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, является ориентация на выполнение мероприятий, направленных на ограничение переноса радионуклидов по трофическим цепям, ведущим к поступлению радиоактивных веществ в организм человека (т. е. ограничение внутреннего облучения), а также снижение его внешнего облучения. В абсолютном большинстве радиоэкологических ситуаций в районах «ядерного наследия» реальная опасность прямого радиационного повреждения флоры и фауны крайне незначительна. Как правило, в зонах «ядерного наследия» мощность дозы облучения живых организмов (биоты) на экосистемном уровне не приводит к изменениям лучевой этиологии, а уменьшение дозы облучения населения достигается в основном за счет снижения интенсивности миграции радионуклидов по пищевым цепочкам. Первостепенное значение приобретает контроль за содержанием радионуклидов в сельскохозяйственной продукции как источнике радиационного воздействия на человека.

В теоретическом отношении в области разработки основных положений стратегии радиационной защиты окружающей среды в последние десятилетия наметился сдвиг основной парадигмы – от антропоцентрической к экоцентрической. В последнюю четверть века прошлого столетия на вооружении специалистов в области радиационной безопасности стоял тезис, сформулированный в 1977 г. МКРЗ в базовых рекомендациях (Публикация 26) как основа антропоцентрического подхода, согласно которому, «если радиационными стандартами защищен человек, то в этих условиях от облучения защищена и окружающая среда (биота)».

Осознание глобальной значимости проблемы охраны природы от растущей техногенной нагрузки привело к убеждению, что нужны прямые доказательства защищенности от облучения не только человека, но и биоты (принцип экоцентризма). Этому соответствует афоризм, согласно которому «человек может быть здоров только в

здоровой среде» (в том числе и по радиационным параметрам воздействия). Тем не менее, поддерживая примат экоцентризма, всё же объективности ради, отметим, что нет доказательств некорректности тезиса «защищен человек – защищена природа». Более того, приверженность этому тезису фактически обеспечила успешное 70-летнее функционирование мировой ядерной энергетики, исключив любые негативные изменения в природной среде.

Внедрение идеи экоцентризма в теорию и практику радиационной защиты окружающей среды с неизбежностью ставит вопрос о разработке количественных критериев допустимого облучения представителей биоты. Следует отметить, что история разработки стандартов радиационной безопасности человека насчитывает более чем столетие, тогда как к установлению аналогичных показателей допустимого облучения природных объектов фактически приступили лишь в начале нынешнего века. В настоящее время сложилась ситуация, когда допустимые дозы облучения биоты, согласно предложениям международных организаций (МКРЗ, МАГАТЭ, НКДАР ООН) и ряда национальных организаций, оказываются в десятки – сотни раз выше, чем человека. Так, одним из показателей допустимого облучения человека признается величина 1 мЗв/год, а для биоты – 1-10 мГр/день, т.е. примерно в 400-4000 раз выше. Парадоксальность этой ситуации состоит в том, что в этом случае, допустив для биоты указанные предельные дозы облучения, мы невольно должны согласиться с облучением человека в этой же экосистеме в 400-4000 раз выше, чем допустимо для его облучения. Отсюда возникает актуальная проблема необходимости гармонизации допустимых дозовых воздействий на биоту и человека на единой дозиметрической линейке. Также подчеркнем, что в современных построениях радиационной защиты биоты (*non-human biota*) и человека остаются принципиально отличными критерии допустимого радиационного воздействия на человека, с одной стороны (это стохастические эффекты с использованием линейной беспороговой концепции воздействия ионизирующих излучений, главным образом радиационно индуцированный рак), и биоты (в основном, это детерминированные эффекты – биоразнообразие, плодовитость и др.), с другой стороны. Разработка вопросов, связанных с радиационными эффектами на экосистемном уровне, – важная задача современной радиоэкологии.

На всех этапах своего развития радиоэкология опиралась на запросы общества. В настоящее время одним из таких главных посылов от социума является обеспечение радиационной безопасности окружающей среды в свете растущего использования ядерной энергии (в первую очередь, ядерной энергетики).

## **ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ РАДИАЦИОННОГО ХАРАКТЕРА. ОПЫТ МОНИТОРИНГА, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ РЕАГИРОВАНИЯ**

д.ф.-м.н., профессор Р. В. Арутюнян  
заместитель директора  
*ИБРАЭ РАН, г. Москва*



Обостренное восприятие радиационных рисков общественностью, а также зачастую лицами, принимающими решения по защите населения на территориальном и муниципальном уровнях, является особым фактором уязвимости социально-экономической сферы при радиационно опасных ситуациях даже в случае малости радиологических рисков. В этой связи важнейшим являются четкая оценка ситуации, адекватное и своевременное реагирование и эффективное информирование населения.

Высокая наукоемкость и сложность атомных технологий предъявляют особые специфические требования к организации системы аварийной готовности, квалификации персонала и научно-техническому обеспечению и сопровождению территориальных систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования (ТС РМ и АР), которые необходимы для принятия научно обоснованных управленческих и технических решений.

Анализ опыта прошлых радиационных аварий и инцидентов показывает, что подавляющая часть социально-экономического ущерба связана с неадекватным реагированием и отсутствием эффективной инфраструктуры, обеспечивающей территориальные органы управления оперативной и квалифицированной поддержкой при принятии решений по мерам вмешательства – защите населения и территорий.

Научно-техническую и экспертную поддержку федеральным и региональным органам исполнительной власти в области оценки и прогнозирования развития ситуации, выработки рекомендаций по мерам защиты персонала, населения и территорий субъектов Российской Федерации в случае радиационных аварий и инцидентов должны обеспечивать центры научно-технической поддержки. Примером такого центра является Центр научно-технической поддержки ИБРАЭ РАН, входящий в состав сил и средств РСЧС (постановление Правительства Российской Федерации № 1007 от 8 ноября 2013 г.).

Цели научно-технической поддержки:

- повышение эффективности и оперативности реагирования на ЧС с радиационным фактором и снижение радиационных и социально-экономических последствий для территории субъекта Российской Федерации и ее населения;
- повышение готовности органов управления и сил функциональных и территориальных подсистем РСЧС к действиям по предупреждению и ликвидации ЧС с радиационным фактором;
- повышение эффективности мероприятий по информированию общественности по вопросам ядерной и радиационной безопасности в режиме повседневной деятельности, в случаях возникновения чрезвычайных ситуаций с радиационным фактором.

В период с 2008 по 2015 годы федеральной целевой программой «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года» был поставлен и успешно решен крупномасштабный комплекс задач по созданию и развитию системы научно-технической поддержки предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций радиационного характера, повышению готовности к реагированию на радиационные инциденты и аварии в рамках ОСЧС Госкорпорации «Росатом» и РСЧС.

Ниже кратко приведены основные направления работ и достигнутые результаты.

### **Направление I**

Создание и совершенствование территориальных систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования. Работы проводились совместно с Росгидрометом, МЧС России, Госкорпорацией «Росатом», РАН, администрациями территорий в субъектах Российской Федерации.

В рамках данного направления были проведены работы по созданию новых и развитию действующих систем радиационного мониторинга и аварийного реагирования в следующих 25 субъектах Российской Федерации: г. Москва, Архангельская область, Брянская область, Волгоградская область, Воронежская область, Калининградская область, Калужская область, Камчатская область, Красноярский край, Курская область, Ленинградская область, Московская область, Мурманская область, Нижегородская область, Приморский край, Ростовская область, Саратовская область, Сахалинская область, Свердловская область, Смоленская область, Тверская область, Томская область, Тульская область, Ульяновская область, Хабаровский край.



*Рис. 1 – Системы ТС РМ и АР созданы в регионах, на территории которых проживает порядка 60 млн человек*

Типовой объем основных работ для полномасштабной территориальной системы:

- а) создание кризисных центров в территориальных органах исполнительной власти субъектов Российской Федерации – участниках аварийной готовности и реагирования на ЧС с радиационным фактором;
- б) создание территориально-распределенных автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (стационарные системы) и передвижных радиометрических лабораторий (мобильные системы);



в) адаптация программно-технических средств оценки, анализа и прогноза радиационной обстановки, в т. ч. оценки последствий и прогнозирования аварий с учетом реальных погодных условий и природных особенностей региона;

г) организация системы научно-технической поддержки принятия решений по мерам защиты населения и территорий;

д) проведение обучения персонала – конечных пользователей системы, проведенных учений и тренировок на основе полномасштабного моделирования и имитации радиационной обстановки.

Системный анализ ущербов, связанных с радиационными авариями (например, чернобыльская авария, радиационный инцидент в Гоянии, авария на АЭС «Фукусима-1»), показывает, что даже на территориях с относительно небольшими загрязнениями, не требующими каких-либо мер защиты населения, социально-экономический ущерб может быть огромным.

Кроме того, специфика радиационных аварий приводит к тому, что даже самое незначительное загрязнение территорий может быть зарегистрировано на больших расстояниях от источника, что, в свою очередь может привести к восприятию такой аварии как ЧС регионального или даже федерального уровня.

Постоянное внимание руководства атомной отрасли к вопросам развития и совершенствования системы аварийного реагирования, реализация практических мероприятий по ее модернизации, внедрение современных научно-технических достижений в области безопасности и аварийных технологий позволяют обеспечить готовность отрасли к предупреждению и ликвидации ЧС на подведомственных предприятиях.

С учетом нынешних радиационных и прогнозируемых политических и социальных последствий аварий можно определено констатировать, что в условиях дальнейшего развития атомной энергетики требуется уделять еще больше внимания вопросам ядерной и радиационной безопасности, обеспечению готовности системы реагирования.

Кардинальное совершенствование и создание на территориальном уровне современной системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования, интегрированной в РСЧС, обеспечит, в частности, возможность прогноза радиационной обстановки (в случае возможных аварий для всех основных типов ядерных установок, используемых в России и приграничных странах), её контроля на базе стационарных и оперативно развертываемых комплексов, в том числе и в тех в регионах России, где нет стационарных ядерно и радиационно опасных объектов.

Функционирование созданных в субъектах Российской Федерации ТС РМ и АР, оснащенных современными техническими средствами, имеющих доступ к оперативной информации о текущей ситуации и прогнозах ее развития, укомплектованных квалифицированным персоналом, участвующим на регулярной основе в противоаварийных учениях и тренировках, позволит администрации региона обеспечить решение задач по защите населения и минимизации прямых и косвенных последствий аварии на радиационно опасных предприятиях или в тех случаях, когда общественность воспринимает их как аварийные.

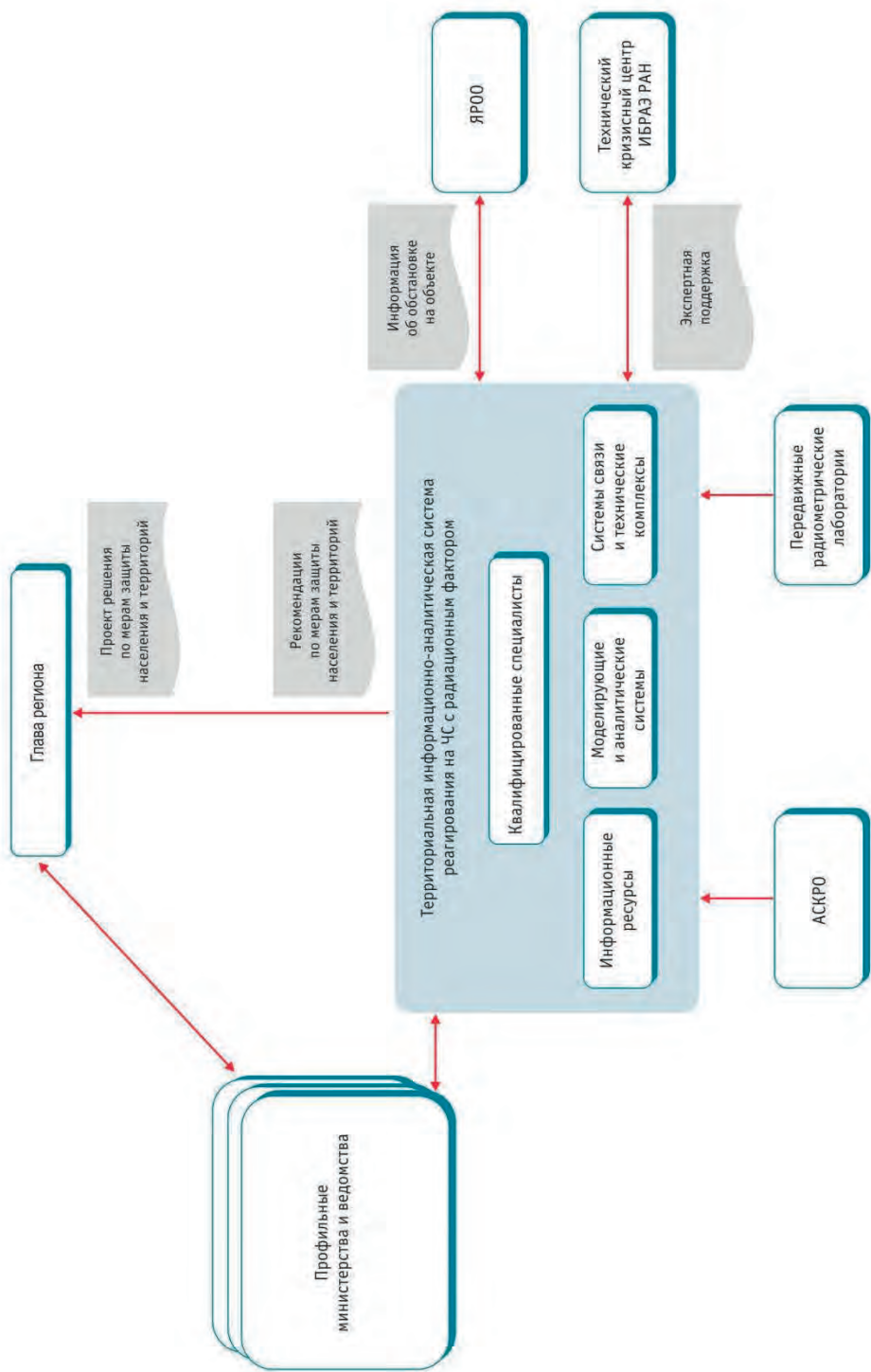


Рис. 2 – Структурная схема территориальной системы (ТС РМ и АР)

Развитие территориальных систем аварийного реагирования направлено на повышение готовности сил и средств территориальных подсистем РСЧС субъектов Российской Федерации за счет создания современных программно-технических комплексов экспертной поддержки аварийного реагирования на ЧС с радиационным фактором, системы научно-технической поддержки принятия решений органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации со стороны компетентных научных организаций для выработки адекватных мер по защите населения в случае радиационных аварий и инцидентов и минимизации их последствий, организации взаимодействия территориальных и функциональных подсистем РСЧС, создания аппаратно-программных комплексов для оснащения постов контроля радиационной обстановки территориальных систем радиационного мониторинга и передвижных радиометрических лабораторий. Территориальные системы контроля радиационной обстановки, в данном случае, выступают в качестве систем раннего обнаружения техногенных радиоактивных веществ и оперативного предупреждения органов власти об изменении радиационной обстановки.

Практическая реализация таких систем в субъектах РФ обеспечивает повышение готовности сил и средств территориальных подсистем РСЧС субъектов Российской Федерации, их оперативное взаимодействие с функциональными подсистемами РСЧС и экспертными центрами при решении задач реагирования на ЧС с радиационным фактором для своевременного принятия решений по обеспечению безопасности населения и территорий.

## **Направление II**

Следующим важным направлением является создание программно-технических комплексов (ПТК) для задач оценки, прогнозирования последствий и разработки рекомендаций по мерам реагирования на радиационные инциденты и аварии.

Отмечу, что за 7 лет в этом направлении достигнут значительный прогресс в создании современных, отвечающих международному уровню программных комплексов. Интерес и запросы предприятий и организаций Госкорпорации «Росатом» свидетельствует о правильности выбранных направлений работ и их высоком научном качестве.

Участие Госкорпорации «Росатом» в международных учениях показало, что отечественные разработанные программные средства и противоаварийные технологии не только соответствует международному уровню, но и зачастую превосходят уровень соответствующих технологий других стран.

Безусловно, следует доводить результаты этих НИР до промышленных продуктов.

Перечень разработанных программных средств и комплексов:

А) Система аварийного прогнозирования распространения радионуклидов в атмосфере субъектов Российской Федерации;

Б) Библиотека трехмерных цифровых моделей промплощадок и сооружений ЯРОО;

В) Комплекс программных средств расчета переноса газоаэрозольной примеси в трехмерной геометрии промышленной застройки;

Г) Программный комплекс оперативного расчета характеристик полей гамма-излучения, создаваемых источниками произвольной формы;

Д) Программное средство для оценки последствий радиационных аварий и определения экстренных мер защиты населения в первые часы после начала аварии;

Е) Программное средство расчета доз внешнего и внутреннего облучения человека от источников ионизирующего излучения различного типа;

Ж) Программное средство оценки ядерных и радиационных событий по Международной шкале ядерных событий (ИНЕС);

З) База данных типовых аварийных ситуаций на ЯРОО с выходом радиоактивных веществ в окружающую среду;

И) Программный комплекс прогнозирования радиационной обстановки при радиоактивных атмосферных выбросах в ближней зоне ЯРОО;

К) Электронный справочник по нормам и правилам радиационной безопасности в условиях радиационных инцидентов и аварий;

Л) Программное средство оперативной оценки радиационных последствий при сбросе радиоактивных веществ в акваторию.

Ряд вышеуказанных ПТК прошли опытную эксплуатацию на предприятиях ГК «Росатом» (ФГУП «СКЦ Росатома», ФГУП АТЦ СПб, ФГУП «ГХК», АО «ГСПИ», АО «ПО ЭХЗ», АО «СХК»).

Коротко остановимся на некоторых научных разработках.

В случае реальных аварийных ситуаций (опыт реагирования на аварии на ЧАЭС и АЭС «Фукусима-1» это подтверждает) изменяющиеся погодные условия очень сильно влияют на картину радиоактивного загрязнения местности. Современные подходы к аварийному прогнозированию распространения радионуклидов в атмосфере в случае аварии на ЯРОО, разрабатываемые в ИБРАЭ РАН, учитывают неоднородность метеоусловий как во времени, так и в пространстве.

Анализ последствий крупнейших аварий продемонстрировал, что точность прогноза радиационной обстановки находится в принципиальной зависимости от информации о пространственно-временных метеорологических полях. Использование такой информации позволит выполнить более точный и реалистичный прогноз распространения радиоактивных веществ поступающих в окружающую среду за более короткий промежуток времени, что особенно важно в процессе аварийного реагирования при выработке рекомендаций по мерам защиты населения и оценки их оправданности в период острой фазы радиационной аварии.

Для решения подобных задач разработана и введена в опытную эксплуатацию в Росатоме система аварийного прогнозирования распространения радионуклидов в атмосфере для действующих ЯРОО на территории Российской Федерации, которая предназначена для моделирования детального переноса радионуклидов с учетом условий местности и на основе данных комплексного мониторинга и прогноза состояния атмосферы над действующими ЯРОО в случаях аварийных ситуаций.

Применение системы моделирования распространения радионуклидов в атмосфере для территории Российской Федерации с учетом оперативных метеоданных существенно повышает качество и достоверность прогнозов, используемых при принятии решений в случае возникновения или угроз ЧС радиационного характера. Система предназначена для решения следующих основных задач:

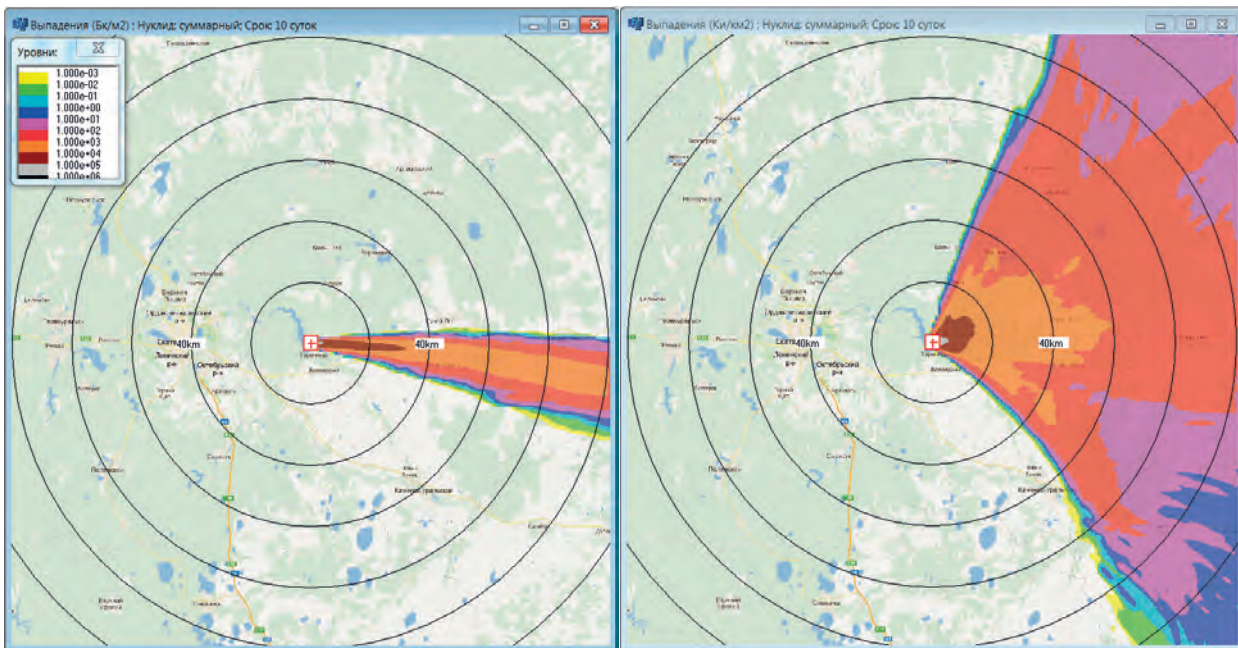


Рис. 3 – Моделирование радиационной обстановки вокруг Белоярской АЭС в 100 км зоне в случае условной радиационной аварии. Прогноз на 48 часов с локальной погодой в точке (слева, нереалистично) и прогноз на основе полей метеоданных (справа, реалистично).

- получения и хранения информации о состоянии атмосферы в радиусе 100 км вокруг ЯРОО на территории Российской Федерации;
- обеспечение качественного и оперативного прогноза на сроки до 2 суток метеорологических полей с высоким пространственным разрешением в случаях возникновения на станциях внештатных ситуаций;
- обеспечение начальных данных, в первую очередь, полей ветра и осадков в Z системе координат, для расчета прогноза переноса и осаждения радионуклидов в 100 километровых зонах вокруг ЯРОО;
- проведение расчетов прогнозов переноса и осаждения радионуклидов в 100 километровых зонах вокруг ЯРОО на территории Российской Федерации в автоматическом режиме при задании различных источников выбросов в случаях внештатных ситуаций на ЯРОО;
- представление информации о метеорологической и радиационной обстановке в виде, способствующем принятию оптимальных решений при возникновении угрозы ЧС.

Другой важной задачей является моделирование переноса радиоактивных веществ в условиях сложной застройки промплощадки объекта.

Анализ отечественной и зарубежной информации показывает, что одним из возможных способов оптимизации управленческих решений по снижению неблагоприятных последствий аварийного или преднамеренного диспергирования радионуклидов на промплощадках ЯРОО Госкорпорации «Росатом» и в условиях городской застройки является численное моделирование с использованием современных компьютерных технологий. Для этой цели были созданы детализированные трехмерные цифровые образы промплощадок (компьютерные модели) и сооружения ЯРОО, и согласованный с ними вычислительный код для прямого моделирования процессов атмосферного переноса радиоактивного загрязнителя в сложной геометрии.

Важным развитием созданного вычислительного кода является включение в него специальных модулей, учитывающих процессы осаждения загрязнителя на горизонтальные

и вертикальные поверхности, а также влияние температурной стратификации атмосферы при расчетах трехмерного распространения загрязняющей примеси в условиях промышленной застройки.

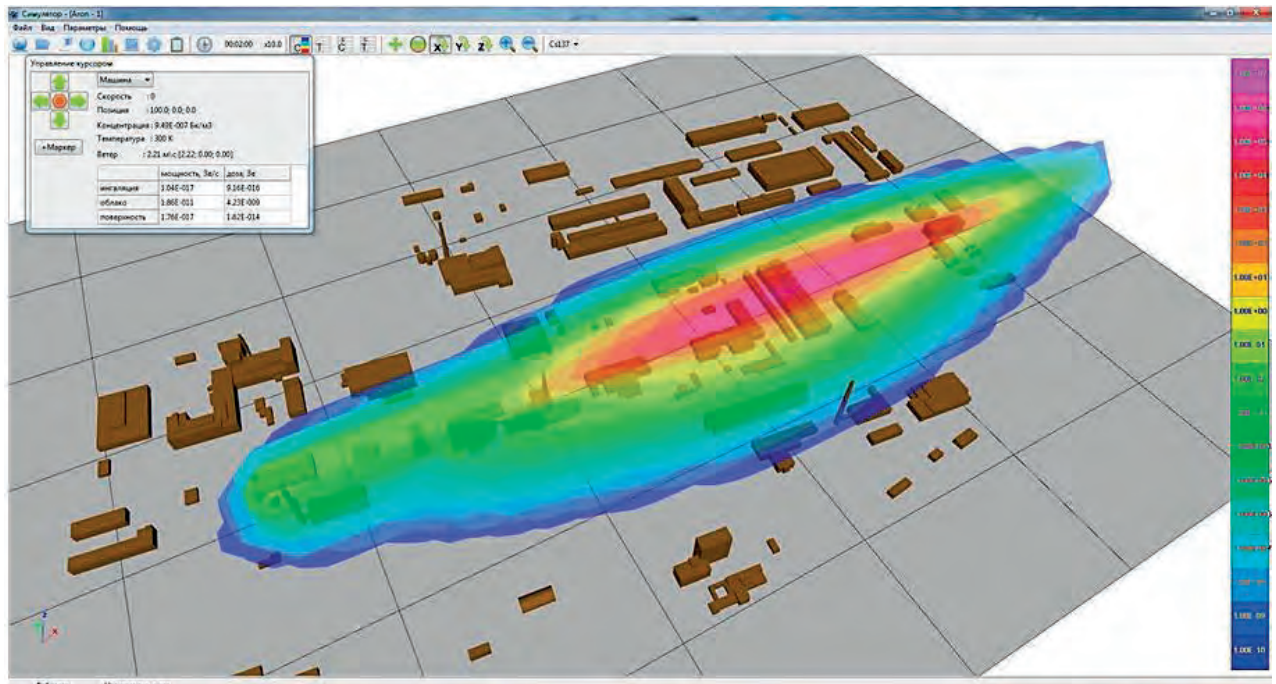


Рис. 4 – Моделирование процессов переноса и осаждения радионуклидов в условиях зданий и сооружений промплощадки ЯРОО

В ходе данной НИР были получены следующие результаты:

создана база трехмерных компьютерных упрощенных моделей промплощадок ЯРОО Госкорпорации «Росатом» для целей моделирования переноса радиоактивных примесей в промышленной застройке. База включает модели 29 промплощадок ЯРОО. На основе каждой площадки подготовлены расчетные сетки для оперативного проведения моделирования;

создан программный модуль визуализации трехмерных моделей площадок ЯРОО для их отображения, а так же редактирования и хранения атрибутивной информации по строениям. Для данного модуля специально были подготовлены 29 трехмерных моделей промплощадок ЯРОО с присоединенной информацией по зданиям и сооружениям. Программа прошла опытную эксплуатацию на базе ФГУП «СКЦ Росатома». В дополнение к программе собрана геоинформационная база данных по предприятиям Госкорпорации «Росатом», содержащая общую и вспомогательную информацию по ЯРОО и окружающим их территориям;

создан программный комплекс расчета переноса газоаэрозольных примесей в условиях трехмерной геометрии. В нем реализованы математические модели переноса газоаэрозольных примесей, модели осаждения аэрозолей на горизонтальные и вертикальные поверхности, модели расчета дозы облучения человека при внешнем гамма-излучении и ингаляции радионуклидов. В состав комплекса входит также модуль по созданию трехмерных моделей застройки и построению на их основе пространственных сеток для дальнейшего расчета переноса. В ходе выполнения НИР программный код прошел валидацию на натурных экспериментах. Программа осуществляет оперативное картирование уровней радиационного фона, радиационного загрязнения поверхностей,

концентрации примеси в воздухе и ряду других параметров. В комплексе реализованы элементы системы тренинга и помощи в принятии решений в условиях радиационной аварии на ЯРОО. Программа прошла опытную эксплуатацию на базе ФГУП «СКЦ Росатома»;

разработано программное средство по расчету методом Монте-Карло переноса примеси в условиях неоднородной подстилающей поверхности. Программа производит расчет переноса примеси в двумерной геометрии над территорией с учетом различия степени шероховатости на разных ее участках. В ней были реализованы новые математические модели расчета переноса примеси, осаждения аэрозолей, а так же вымывания осадками аэрозольных и неаэрозольных примесей. В дополнение к данному программному средству был создан программный модуль для численного моделирования процессов формирования микрочастиц при аварийных выбросах, задача которого – формирование данных о дисперсионном составе примеси, возникающей при авариях различного типа на ЯРОО.

### **Направление III**

Научно-техническая поддержка систем аварийного реагирования.

Готовность к адекватному, эффективному и своевременному реагированию на ядерные и радиационные аварии является одним из ключевых факторов обеспечения безопасности функционирования объектов использования атомной энергии и снижения рисков неблагоприятного воздействия ионизирующего излучения на здоровье человека.

В последнее время в Российской Федерации предприняты значительные усилия по развитию и совершенствованию современной системы аварийного реагирования на радиационные аварии. В состав сил и средств системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций входят профессиональные аварийно-спасательные формирования (аварийно-технические центры и АСФ), нештатные аварийно-спасательные формирования и локальные кризисные центры на предприятиях в организациях, созданы автоматизированные системы мониторинга безопасности и контроля радиационной обстановки.

Основные задачи научно-технической поддержки системы аварийного реагирования заключаются в следующем:

- идентификация источника опасности;
- анализ и прогноз развития и масштабов ЧС;
- оценка и прогноз последствий для населения и окружающей среды;
- выработка рекомендаций по управлению ЧС;
- выработка рекомендаций по ликвидации последствий;
- выработка рекомендаций по мерам защиты населения и окружающей среды;
- поддержка разработки стратегии реабилитации;
- взаимодействие с органами власти и управления, населением и СМИ.

В настоящее время на практике реализуется научно-техническая поддержка ФГУП «СКЦ Росатома». Сформированы постоянно действующие функциональные структуры – центры научно-технической поддержки (ЦНТП) на базе Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Федерального медицинского биофизического центра им. А. И. Бурназяна (ФМБЦ) Федерального медико-биологического агентства, НПО «Тайфун». Проведена интеграция первой очереди ЦНТП ИЯУ, созданного на базе АО «ГНЦ НИИАР», с ФГУП «СКЦ Росатома».

Центры научно-технической поддержки оснащены необходимыми программно-техническими комплексами и современными средствами связи и передачи данных, которые обеспечивают взаимодействие между участниками аварийного реагирования, в том числе с ФГУП «СКЦ Росатома», а также между собой.

Центры обеспечивают поддержку по направлению оценки и прогноза воздействия на персонал, население и окружающую среду, выработки рекомендаций по мерам защиты населения.

Так, например, в настоящее время в ЦНТП ИБРАЭ РАН реализованы все основные компоненты, необходимые для оперативной поддержки принятия решений по защите населения и окружающей среды при радиационных авариях.

Основные задачи ЦНТП включают:

оценка и прогноз основных характеристик источника радиоактивного выброса;  
прогноз загрязнения окружающей среды с учетом данных радиационного мониторинга;

оценка и прогноз доз облучения населения;

выработка рекомендаций по защите населения и объектов окружающей среды;

оценка эффективности защитных мероприятий и их оптимизация для конкретных условий с учетом радиологических, экономических и социальных условий.

В ЦНТП ИБРАЭ РАН работает 24 высококвалифицированных эксперта, многие из которых имеют реальный опыт участия в ликвидации и научно-технической поддержке реагирования на радиационные аварии (Чернобыльская авария, авария на АЭС «Фукусима-1», радиационный инцидент в г. Электросталь) и анализе влияния этих аварий на население и окружающую среду.

Для решения задач научно-технической поддержки принятия решений по защите населения и территорий создан, используется и развивается мощный комплекс информационных и программно-технических средств. Информационная компонента комплекса включает базы данных по описанию характеристик радиационно опасных объектов, характеристикам территорий их размещения, демографии, объектам окружающей среды, инфраструктуре, базы данных по радиологическим сценариям аварий, картографический банк электронных карт, базы данных по нормативно-технической документации.

Оценка и прогнозирование последствий аварий осуществляется с использованием компьютерных систем моделирования распространения радионуклидов в объектах окружающей среды (в атмосфере, воде, почве), расчетов доз внутреннего и внешнего облучения, а также загрязнения поверхности радионуклидами. Большинство компьютерных моделей используют геоинформационные технологии, что предоставляет большие возможности для визуализации результатов моделирования и их оперативного представления.

Для надежного и бесперебойного функционирования программно-технических средств необходимы современные вычислительные сети, компьютерное оборудование, высокоскоростные линии связи, обладающие высокой степенью защищенности для организации единого информационного пространства в системе аварийного реагирования. Это достигается использованием высокопроизводительных кластеров, систем резервирования, организацией современных систем видеоконференцсвязи с помощью оптоволоконных линий и выделенных каналов связи, обеспечивающих возможность



оперативного и эффективного взаимодействия между всеми участниками противоаварийной деятельности, в том числе проведения аудио- и видеоконференций.

В повседневной деятельности готовность системы аварийного реагирования на радиационные аварии обеспечивается проведением тренировок и учений. На объектах Госкорпорации «Росатом» проводятся тренировки различного уровня, командно-штабные и тактико-специальные учения, комплексные противоаварийные учения с участием федеральных и территориальных органов исполнительной власти.

Таким образом, выстроенная в России в настоящее время система научно-технической поддержки при реагировании на чрезвычайные ситуации с радиационным фактором на практике показала высокую оперативность, достоверность прогнозных оценок и эффективность рекомендаций по защите населения и территорий (пример тому – реагирование на аварию на АЭС «Фукусима-1» в 2011 году и радиационный инцидент в г. Электросталь в 2013 году).

Эта во многом уникальная система, опирается на высококвалифицированный состав экспертов и специалистов, последние достижения в области вычислительной математики, создания верифицированных компьютерных кодов для оперативного проведения расчетных работ по численному моделированию аварийных процессов, включая процессы распространения радионуклидов в окружающей среде. На базе современных информационных технологий выстроены системы связи и оперативного обмена информацией. Все это позволило существенно повысить эффективность принятия решений при радиационных авариях. Важнейшей задачей является сохранение и развитие созданной за последние годы системы научно-технической поддержки реагирования на радиационные аварии и инциденты.

## *5. Решение ИТС № 10*

## УТВЕРЖДАЮ

Председатель НТС №10  
Госкорпорации «Росатом»,  
член-корреспондент РАН



Л. А. Большов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.

## РЕШЕНИЕ

НТС № 10 Госкорпорации «Росатом»  
«Экологическая, ядерная и радиационная безопасность»

12 марта 2015 г.

### **По вопросу «Прогноз развития науки и технологий в сфере обеспечения экологической, ядерной и радиационной безопасности».**

Заслушав и обсудив доклады директора ИБРАЭ РАН, члена-корреспондента РАН Большова Л. А. и директора ФБУ «НТЦ ЯРБ» Хамазы А. А. «О прогнозе развития науки и технологий в сфере обеспечения экологической, ядерной и радиационной безопасности», заместителя директора ИБРАЭ РАН, д.ф.-м.н. Стрижова В. Ф. «О компьютерных кодах для анализа и обоснования безопасности ОИАЭ и решения задач радиационного мониторинга и аварийного реагирования», заместителя директора МРНЦ, члена-корреспондента РАН, д.т.н. Иванова В. К. «Концепция социально приемлемого радиационного риска в свете задач Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности», директора ФГБНУ ВНИИРАЭ, академика РАН, профессора, д.б.н. Алексахина Р. М. «Об актуальных радиоэкологических проблемах», заместителя директора ФГУП «СКЦ Росатом», д.т.н. Смирнова С. Н. «Об информационных технологиях в сфере обеспечения безопасности ОИАЭ», начальника отдела НИЦ ОАО «Концерн Росэнергоатом», д.т.н. Волкова В. Г. о «Программе работ по актуализации стратегии и проектных решений по выводу из эксплуатации энергоблоков 1, 2 Нововоронежской АЭС», выступления членов НТС № 10 Линге И. И., Хамазы А. А., Романова В. В.

### **НТС № 10 констатирует:**

1. Обеспечение ядерной, радиационной и экологической безопасности (далее – ЯРЭБ) – необходимое условие реализации «Стратегии деятельности Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» на период до 2030 года», которое решающим образом влияет на её эффективность.

2. Предметом науки и технологий в сфере компетенций НТС № 10 являются: научные основы анализа безопасности объектов использования атомной энергии (далее - ОИАЭ), включая методы и технологии ее обеспечения (информационные технологии полного жизненного цикла, базы знаний, методы искусственного интеллекта, возможность использования робототехники и тренажеров);

анализ радиологических и радиоэкологических рисков при нормальной эксплуатации ОИАЭ и в случае аварийных ситуаций, а также сопоставление их с рисками иной природы;

технологии мониторинга и управления ЯРЭБ, включая аварийное реагирование (в том числе развитие on-line методов).

Технологии основных ядерных производств, включая обращения с ОЯТ, РАО и ВЭ, являются предметом научного анализа других НТС Госкорпорации «Росатом».

3. При принятии решений по научным и технологическим аспектам обеспечения ЯРЭБ необходимо учитывать роль факторов ЯРЭБ в глобальной безопасности и устойчивом развитии. Однако ряд обстоятельств не способствует своевременному наращиванию научного и технологического потенциала:

- Радиационные риски при нормальной эксплуатации ОИАЭ в подавляющем большинстве случаев находятся в нормативно установленных пределах и пренебрежимо малы в сравнении с рисками иной природы (например, химической), что позволяет эксплуатирующим организациям делать вывод о достаточности научно-технической обоснованности уже существующих технологий и подходов к обеспечению безопасности в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе. Стимулом для планирования и финансирования НИОКР в этом случае является необходимость совершенствования технологий в соответствии с современными требованиями безопасности.

- Нарушения при эксплуатации ОИАЭ отрасли с радиационными последствиями носят единичный характер, а крупные аварии чрезвычайно редки.

Однако развитие в области обоснования и обеспечения ЯРЭБ необходимо. Радиационные аварии глобальны по своим масштабам (даже если и локализованы физически), а сопутствующие риски существенно выше таковых при нормальной эксплуатации. Технически их можно ограничить, но при этом общие социально-экономические последствия колоссальны (это отчетливо видно на примере прошлых радиационных аварий). При этом задача минимизации последствий радиационных аварий – одна из наиболее сложных и актуальных в области обеспечения ЯРЭБ - не решается только путем прямого повышения уровня безопасности объекта.

Имеющиеся заказы эксплуатирующих организаций на выполнение НИОКР в сфере обеспечения безопасности не могут адекватно ответить на вызовы, которые возникнут в ближайшие несколько лет в связи с неизбежными изменениями, например, в отношении: установления на основе анализа современного уровня знаний соразмерности регулирующих требований потенциальной опасности ОИАЭ, усиления требований в части завершающих стадий жизненного цикла (далее - ЗСЖЦ) ОИАЭ, развития природоохранного регулирования. Это связано с тем, что, в соответствии с действующими требованиями, эксплуатирующие организации в основном ориентированы на текущую, но не долговременную безопасность. Усиление вектора долговременной безопасности – зона ответственности органов управления и регулирования.

Вопросы научно-технического обеспечения развития технологий безопасности существующих установок децентрализованы, в связи с чем в их решении отсутствуют признаки системности в рамках отрасли. Исключением составлял комплекс расчетно-теоретических работ по наследию, реализованный в 2008–2015 годах, а также недавняя инициатива ОАО «Концерн «Росэнергоатом» по разработке и реализации «Программы работ по актуализации стратегии и проектных решений по выводу из эксплуатации энергоблоков 1, 2 Нововоронежской АЭС».

По новым объектам ЗСЖЦ прогнозируются проблемы не только в части общественного признания их необходимости в конкретном регионе и высокой безопасности, но и собственно в части обоснования отдельных параметров долговременной экологической, ядерной и радиационной безопасности, связанные с:

- различием в отечественных и международных подходах к работам по выводу из эксплуатации;
- отсутствием у отечественных организаций (эксплуатирующих, проектных, конструкторских, научных) значимого и достаточного опыта решения задач по обоснованию безопасности на сроки до сотен, тысяч и более лет.

В отношении проектируемого пункта глубинного захоронения РАО в Нижнеканском гранитоидном массиве эти проблемы обсуждались на заседании НТС № 10 Госкорпорации

«Росатом» 5 сентября 2013 г., однако значимого усиления работ по обоснованию безопасности на долговременный период не произошло.

4. В области научной и технологической составляющей ЯРЭБ существует значительный потенциал развития, позволяющий повысить эффективность реализации стратегии Госкорпорации «Росатом». Основные возможности связаны с развитием механизмов стимулирования обеспечения безопасности на основе принципа оптимизации радиационной защиты. Представленные доклады дают основания для утверждения о понимании перспектив и наличии видения более детальных прогнозов развития науки и технологий по рассмотренным направлениям (приложения 1-4) и необходимости наращивания усилий по отдельным из них. В настоящее время соответствующие работы выполняются, в основном, силами ИБРАЭ РАН, ФБУ «НТЦ ЯРБ» и ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, однако очевидна целесообразность их курирования Госкорпорацией «Росатом» в рамках, например, тематического Центра компетенций (решение Президиума НТС Госкорпорации «Росатом» от 26 ноября 2014 г.).

#### **НТС № 10 решил:**

1. Одобрить тематические прогнозы по направлениям ЯРЭБ (приложения 1-4) и признать необходимым их актуализацию не реже одного раза в 3 года.

2. Рекомендовать заинтересованным организациям отрасли представить детализированные предложения по НИОКР, необходимым для обеспечения ЯРЭБ в условиях реализации тематических прогнозов.

Срок – июнь 2015 г.

3. Рекомендовать ИБРАЭ РАН совместно с ФБУ «НТЦ ЯРБ» обеспечить свод и систематизацию предложений и их представление на рассмотрение Блока управления инновациями и Генеральной инспекции Госкорпорации «Росатом».

4. Рекомендовать заместителю генерального директора - директор Блока по управлению инновациями в соответствии с решением Президиума НТС Госкорпорации «Росатом» от 26 ноября 2014 г. и выделенными приоритетными направлениями принять меры по организации финансирования первоочередных работ по формированию и поддержанию в актуальном состоянии отраслевых компетенций по вопросам науки и технологий в сфере обеспечения ЯРЭБ, включая мониторинг нормативно-правовой базы в области экологической безопасности с учетом изменений, вступающих в силу в период 2016–2020 годов.

5. В качестве наиболее перспективного направления повышения эффективности реализации стратегии Госкорпорации «Росатом» в области обеспечения ЯРЭБ считать работы по выводу из эксплуатации энергоблоков АЭС и научное обоснование безопасности впервые создаваемых объектов (ПИЛ и др.).

6. Одобрить «Программу работ по актуализации стратегии и проектных решений по выводу из эксплуатации энергоблоков 1, 2 Нововоронежской АЭС».

Ученый секретарь НТС № 10



М.О. Шведов

## Организационный комитет

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

КРЮКОВ О. В. Директор по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ ЯРОО Госкорпорации «Росатом»

### ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

БОЛЬШОВ Л. А. Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор, директор ИБРАЭ РАН

ГОВЕРДОВСКИЙ А. А. Д. ф.-м. н., генеральный директор АО «ГНЦ РФ–ФЭИ»

### ЧЛЕНЫ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА

БУДЫКА А. К. Д.ф.-м.н., ученый секретарь, начальник отдела сопровождения деятельности НТС Блока по управлению Инновациями Госкорпорации «Росатом»

НОВИКОВ С. Г. Директор Департамента коммуникаций Госкорпорации «Росатом»

РАЙКОВ С. В. Директор Департамента ядерной и радиационной безопасности, организации лицензионной и разрешительной деятельности Госкорпорации «Росатом»

ДОРОФЕЕВ А. Н. К.т.н., руководитель ПО «Формирование единой государственной системы обращения с РАО» Госкорпорации «Росатом»

КОМАРОВ Е. А. Старший менеджер Управления по выводу из эксплуатации ЯРОО Госкорпорации «Росатом»

ЗАХАРЧЕВ А. А. Руководитель ПО «Комплексная утилизация АПЛ» Госкорпорации «Росатом»

СЕЛЕЗНЁВ Ю. Н. К.э.н., ректор НОУ ДПО «ЦИПК Росатома»

КУХАРЧУК О. Ф. Д.ф.-м.н., заместитель генерального директора, директор отделения АО «ГНЦ РФ–ФЭИ»

БОРИСОВ В. С. Заместитель генерального директора АО «ГНЦ РФ–ФЭИ»

ПЫШКО А. П. К.ф.-м.н., начальник отдела АО «ГНЦ РФ–ФЭИ»

ХОРОМСКИЙ В. А. Зам. ученого секретаря от АО «ГНЦ РФ–ФЭИ»

## Программный комитет

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

БОЛЬШОВ Л. А. Чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор, директор ИБРАЭ РАН

### ЗАМ. ПРЕДСЕДАТЕЛЯ

ЛИНГЕ И. И. Д.т.н., заместитель директора ИБРАЭ РАН

ПЕТРОВ Э. Е. Д.ф.-м.н., профессор, г.н.с. АО «ГНЦ РФ–ФЭИ»

### ЧЛЕНЫ ПРОГРАММНОГО КОМИТЕТА

САРКИСОВ А. А. Академик РАН, советник Российской академии наук ИБРАЭ РАН

АБРАМОВ А. А. Заместитель директора по государственной политике в области РАО, ОЯТ и ВЭ, руководитель Управления разработки и реализации программ реабилитации объектов наследия Госкорпорации «Росатом»

РАЙКОВ С. В. Директор Департамента Госкорпорации «Росатом»

АРУТЮНЯН Р. В. Д.ф.-м.н., профессор, заместитель директора ИБРАЭ РАН

СТРИЖОВ В. Ф. Д.ф.-м.н., заместитель директора ИБРАЭ РАН

АНТИПОВ С. В. Д.т.н. заместитель директора ИБРАЭ РАН

ХАМАЗА А. А. Директор ФБУ «НТЦ ЯРБ»

ВАНЕЕВ Ю. Е. Д.т.н., в.н.с. ИБРАЭ РАН

ПЛОТНИКОВ А. Ю. К.ф.-м.н., заведующий лабораторией АО «ГНЦ РФ–ФЭИ»

ВАСЮХНО В. П. К.т.н., директор отделения АО «НИКИЭТ»

МАДЕЕВ В. Г. Д.т.н., профессор, зав. лабораторией НИЦ «Курчатовский институт»

БЫЛКИН Б. К. Д.т.н., профессор, в.н.с. НИЦ «Курчатовский институт»

ВОЛОЩЕНКО А. М. К.ф.-м.н., заведующий сектором ИПМ РАН

КУРЫНДИН А. В. Начальник отдела ФБУ «НТЦ ЯРБ»

МАТУСЕВИЧ Е. С. Д.ф.-м.н., профессор, ОИАТЭ НИЯУ «МИФИ»

КУРАЧЕНКО Ю. А. Д.ф.-м.н., заведующий кафедрой ОИАТЭ НИЯУ «МИФИ»

КЛИМАНОВ В. А. Д.ф.-м.н., профессор, НИЯУ «МИФИ»

ЕРЕМИН А. Г. Д.т.н., в.н.с. АО «Красная Звезда»

ЦОФИН В. И. Главный специалист ОКБ «ГИДРОПРЕСС»

АЛЕКСЕЕВ А. Г. К.ф.-м.н., с.н.с. ИФВЭ РАН

