

СОКРАЩЕНИЕ РИСКОВ ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ВЫСОКОЙ АКТИВНОСТИ В ХЭНФОРДЕ

Роберт Альварец

Высокоактивные радиоактивные отходы, полученные при производстве плутония на площадке министерства энергетики в Хэнфорде (штат Вашингтон) находятся среди самых больших и наиболее опасных побочных продуктов ядерной гонки вооружений. В 2002 году министерство энергетики (МЭ) объявило планы завершения своей миссии в Хэнфорде и на всех других своих площадках в течение следующих 30 лет. В течение этого времени МЭ намерено утилизировать примерно 90 процентов высокоактивных отходов Хэнфорда на площадке, переработать остальную часть отходов в стекло для геологического захоронения, и навсегда закрыть 177 больших резервуаров и связанную с ними инфраструктуру. Основной целью МЭ в Хэнфорде является ускорение, возможно, наиболее дорогого, сложного, и рискованного проекта по защите окружающей среды в Соединенных Штатах. Оценка полных расходов на обработку отходов в Хэнфорде лежит в пределах от 41,6 до 56,9 миллиарда долларов. Ни одна из стран не перерабатывала ничего похожего на большой и сложный набор хэнфордских отходов.

Статья получена 16 марта 2004 г. и принята к публикации 7 июня 2004 г.

Автор работает старшим научным сотрудником Института политических исследований, Вашингтон, США. Эта работа была выполнена в сотрудничестве с Правительственным учетным проектом.

Посылать корреспонденцию по адресу: Robert Alvarez, Senior Scholar, Institute of Policy Studies, 733 15th St. NW, Suite 1020, Washington, DC, 20005, USA.

Адрес электронной почты: kitbob@erols.com

РИСКИ ПЕРЕРАБОТКИ

Последствия аварии на хэнфордском заводе переработки отходов сравнимы с авариями на больших ядерных реакторах. При проектировании и строительстве ядерной установки законодательство требует от МЭ оценить частоту неослабленных рисков крупных ядерных аварий, в которой не учитываются предупредительные меры, которые могут уменьшить последствия аварии. Этот подход определяет «границы безопасности», содержащиеся в документированных анализах ядерной безопасности, требуемых законодательством от проектирования, строительства и эксплуатации ядерной установки. Его задачей является создание больших запасов безопасности и ограничение неопределенностей, присущих уникальным опасным операциям.

После трех с половиной лет участия в работах в Хэнфорде ЯРК обнаружила в 2001 году, что подрядчики МЭ постоянно занижают серьезность потенциальных аварий. ЯРК оценила, что общий неослабленный риск крупных радиологических и химических аварий при операциях с высокоактивными отходами в Хэнфорде равен 0,024 за год, что соответствует вероятности 50 на 50 на оцениваемые 28 лет эксплуатации установки. Согласно ЯРК, более двадцати существенных проблем безопасности и 50 специальных тем остаются неразрешенными.

Существующие технические средства контроля и административные методы могут сократить риски на заводе по переработке отходов в Хэнфорде до допустимого уровня, за возможным исключением стеклоплавильных печей, разработанных для перемешивания радиоактивных отходов с расплавленным стеклом. Они являются самыми крупными в мире, и потенциально могут привести к наиболее серьезным последствиям аварии. ЯРК обнаружила, что требуется дополнительный анализ для определения того, могут ли риски плавильных печей быть уменьшены до уровней, приемлемых для аварий на реакторах. Но ЯРК предупредила, что «представляется, что для подтверждения параметров безопасности до строительства планируется мало испытаний».

Опыт МЭ со стеклоплавильными печами не внушает уверенности. С 1991 года на площадках МЭ произошло по крайней мере восемь связанных с плавильными печами аварий и неисправностей, включая два паровых взрыва.

Проблемы хранения, возникшие во времена холодной войны, добавляют дополнительные риски к переработке отходов. Из более, чем трети хэнфордских резервуаров произошла утечка приблизительно одного миллиона галлонов (4000 кубометров), что привело к загрязнению подземных вод, которые, в конечном счете, попадают в реку Колумбия. Структурная целостность десятков старых резервуаров «вызывает немедленные опасения», по словам ЯРК. В результате давнего решения о нейтрализации кислотных отходов переработки во всех хэнфордских резервуарах образуются потенциально воспламеняемые и взрывоопасные газы в процессе радиолиза. Эта проблема усложняется сотнями добавленных химикатов.

В октябре 2003 года в одном из наиболее проблемных хэнфордских резервуаров, SY 101, после того, как он был объявлен безопасным, было обнаружено, что в нем находится достаточное количество остаточного газа для того, чтобы достичь 100 процентов от нижнего предела воспламеняемости для водорода. По мере того, как отходы будут извлекаться и перерабатываться, рисков пожаров и взрывов будет увеличиваться, и они будут вызывать опасения на протяжении всего проектного срока службы. Текущие оценки показывают, что накопление водорода в трубах завода по переработке отходов может быть в десятки и сотни раз больше, чем это предполагалось.

ЯРК (ЯРК) пришла к выводу, что «во многих случаях имеется мнение о том, что законодательным рассмотрением нельзя позволять влиять на расходы и графики». Начиная с 2001 года, когда участие ЯРК в работах на заводе по переработке отходов в Хэнфорде закончилось, МЭ, кажется, игнорирует многочисленные опасения ЯРК. Вместо этого, программные требования сокращения расходов и экономии времени приводят к ослаблению требований по безопасности, большим расходам на строительство, и увеличению получаемых доз и травматизма персонала. Последнее расследование МЭ показало, что строительные рабочие опасались наказания, в особенности потери работы, за жалобы по вопросам безопасности, медицины, и трудовых отношений. В результате этих растущих проблем строительные работы затормозились, и проектные работы были пересмотрены, что привело к дальнейшим задержкам.

РИСКИ УТИЛИЗАЦИИ

Утверждая, что в планируемом геологическом хранилище в Юкка Маунтин «нет места», МЭ стремится значительно расширить захоронение оборонных высокоактивных отходов на нескольких площадках. Основная база для этой политики была заложена в 1985 году. Они предположили, что контейнер с высокоактивными отходами содержит радиологический эквивалент 0,5 тонны тяжелых металлов отработанного реакторного топлива, и что значительная часть отходов в хэнфордских резервуарах будет эффективно оставлена. Текущие данные по 1500 контейнерам с высокоактивными отходами показывают, что в контейнерах содержится менее 10 процентов от предсказанной радиоактивности. МЭ запрещено также федеральным соглашением по защите окружающей среды оставлять резервуары в Хэнфорде. С учетом этих обстоятельств политика МЭ дальнейшего сокращения производства контейнеров с высокоактивными отходами приведет к утилизации на площадках значительно большего количества радионуклидов.

До того, как МЭ в 2002 году инициировало план ускоренной очистки, по соглашению 1997 года с персоналом ЯРК в Хэнфорде перед утилизацией на площадке из растворимых отходов должно было быть извлечено по крайней мере 98 процентов общей радиоактивности в качестве побочных отходов. Вместо этого МЭ намеревается захоронить на площадке отходы из десятков резервуаров без отделения радионуклидов, вместе с неопределенным количеством остатков в резервуарах и неисправным оборудованием для переработки, в котором содержатся высокоактивные отходы. В результате на площадке в Хэнфорде должно быть утилизировано по крайней мере 35 мегакюри радиоактивности – более чем в два раза больше количества, согласованного в 1997 году с персоналом ЯРК.

До 2004 года ЯРК определяла, что на площадках МЭ является высокоактивными отходами, подлежащими геологическому захоронению. В прошлом году Конгресс США разрешил

МЭ самому управлять утилизацией высокоактивных отходов, консультируясь с ЯРК. Однако, площадка в Хэнфорде была исключена из этого положения. ЯРК осуществляет свои полномочия через консенсусные соглашения на уровне персонала. Пассивный подход ЯРК привел к действиям МЭ по утилизации, которые для всех практических целей являются необратимыми. В случае Хэнфорда представляется, что МЭ может игнорировать соглашение с персоналом ЯРК без юридических последствий.

Национальный исследовательский совет недавно пришел к выводу о том, что понимание процесса переноса отходов из резервуаров в реку Колумбия в лучшем случае отрывочно, и что преждевременный прорыв естественных барьеров вполне возможен. Текущая оцениваемая утилизация иода-129 (период полураспада 17 миллионов лет) из переработанных отходов, по-видимому, нарушает требования МЭ к параметрам отходов, и может привести к загрязнению подземных вод, превышающему предельные концентрации в питьевой воде, установленные агентством по охране окружающей среды, на протяжении тысяч лет.

Влияние прошлых операций и дополнительной утилизации на площадке не принималось во внимание для Хэнфорд Рич, последнего свободно текущего участка реки Колумбия, который протекает через площадку. В течение следующих восьми лет высокий приоритет будет отдаваться передаче более 87 процентов площадки в Хэнфорде в Национальный памятник Хэнфорд Рич в ведение министерства внутренних дел. Влияние прошлых операций и дополнительной утилизации на площадке не принималось во внимание для Хэнфорд Рич, последнего свободно текущего участка реки Колумбия, который протекает через площадку. В течение следующих восьми лет высокий приоритет будет отдаваться передаче более 87 процентов площадки в Хэнфорде в национальный памятник Хэнфорд Рич в ведение министерства внутренних дел. Вероятность посещения национального памятника тысячами людей не учитывалась в сценариях ядерных аварий МЭ и при принятии решений по утилизации. Особенные опасения вызывает высокая уязвимость к загрязнениям окружающей среды тысяч американских индейцев, проживающих вблизи Хэнфорда.

Это было подчеркнуто в 2002 году агентством по охране окружающей среды, которое обнаружило, что рыба вблизи площадки проявляет наибольшую степень заражения во всем бассейне реки Колумбия. Агентство по охране окружающей среды оценило, что риск смертельного исхода от рака на протяжении всей жизни от потребления рыбы индейцами достигает 1 к 50. Обычно агентство по охране окружающей среды предпринимает законодательные действия, когда риск заражения превышает от 1 к 10000 до 1 к 1000000. Примерно в то же время, когда был выпущен отчет агентства по охране окружающей среды, МЭ установило радиационный стандарт для защиты рыбы от радионуклидов Хэнфорда, который приведет к дозам для индейцев, в сотни раз превышающим те, которые допускаются агентством по охране окружающей среды.

ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТОМ

Поскольку хэнфордский завод по переработке отходов является уникальным предприятием, безопасность и возможность эксплуатации этого проекта сильно зависят от знания физических и химических свойств отходов. Однако, национальный исследовательский совет обнаружил, что данные о хэнфордских отходах «имеют малую ценность для проектирования химической переработки». В свете этих неопределенностей мировой опыт отверждения высокоактивных отходов показывает, что в Хэнфорде следует соблюдать исключительную осторожность. Но МЭ повысило ставки, решив отказаться от полупромышленной установки, использующей реальные хэнфордские отходы, и перейти к проектированию и строительству полномасштабной установки.

В течение последних 20 лет было переработано менее пяти процентов всех оборонных высокоактивных отходов, в то время как планируемые расходы значительно возросли и превышают 100 миллиардов долларов. Неспособность МЭ управлять такими проектами является главным фактором, стоящим за этими трудностями. Например, неспособность в течение 20 лет справиться с предварительной обработкой растворимых отходов привела к потере 500 миллионов долларов, при планируемой стоимости в 1,8 миллиарда долларов. Генеральное счетное управление США связывает эту проблему с культурой управления, основанной на «недокументированной политике слепой веры в силы своих подрядчиков». Растущие опасения Конгресса привели к появлению нескольких докладов национального ис-

следовательского совета, который обнаружил, что:

- Проекты по охране окружающей среды страдают от больших задержек и примерно на 50 процентов дороже сравнимых проектов в федеральном и частном секторах.
- Перспективное планирование проекта неадекватно.
- Не имеется согласованной системы оценки рисков проекта.
- МЭ не контролирует многие из своих проектов.

Капитальные расходы на хэнфордский завод по отверждению составляют относительно малую часть полной стоимости проекта. Неспособность оценить неопределенности в проектировании и строительстве завода может существенно повлиять на стоимость переработки и утилизации и на общий успех предприятия. Политика МЭ ускорить проектирование и строительство привела к дорогостоящим и задерживающим ошибкам.

Наиболее значительной ошибкой до сих пор была неспособность МЭ и подрядчика воспринять предупреждения совета по безопасности оборонных ядерных установок в 2003 году об увеличении стойкости к землетрясениям в сейсмически активной области, аналогичной Калифорнии. В результате в марте 2005 года МЭ приостановило строительные работы на установках, которые будут обрабатывать основную часть отходов для того, чтобы удвоить проектную сейсмическую стойкость.

РЕКОМЕНДАЦИИ

В этой статье приводятся следующие рекомендации для того, чтобы сократить риски, связанные с высокоактивными отходами в Хэнфорде:

- ЯРК должна получить право контролировать проектирование и строительство установок для переработки отходов в Хэнфорде и сертифицировать безопасность резервуаров для их хранения.
- Следует принять идентифицированные МЭ критерии на основе риска, которые позволят геологическое захоронение всех контейнеров МЭ с высокоактивными отходами.
- Следует наложить более ограничивающие пределы на утилизацию отходов из резервуаров на площадке, которые применимы к постоянному захоронению высокоактивных отходов на площадке. Эти пределы должны быть разработаны с участием затрагиваемых штатов, индейских племен и представителей общественности. Это должно быть сделано в рамках существующего законодательства через формальную установку правил ЯРК.
- МЭ должно построить опытные полупромышленные установки для предварительной обработки отходов, подготовки загрузки, и плавильных печей, использующие реальные отходы из Хэнфорда.
- МЭ должно усилить контроль над этим проектом, создав в Хэнфорде постоянную группу управления проектом по переработке высокоактивных отходов из Хэнфорда, докладывающую помощнику министра по управлению вопросам и окружающей среды.

Стоимость, сложность, и риски проекта завода по переработке высокоактивных отходов в Хэнфорде сравнимы с программой «Спейс Шаттл», но они могут оказать гораздо большее потенциальное воздействие на человека и окружающую среду. Но большей частью этот проект до сих пор остается дорогостоящим курьезом в проблемах национальной политики. Учитывая высокие ставки, цена продолжающегося пренебрежения наследством гонки ядерных вооружений может оказаться не поддающейся расчету.

ИСТОРИЯ ХЭНФОРДА

В январе 1943 года, всего через несколько недель после того, как в Чикагском университете была получена первая самоподдерживающаяся ядерная цепная реакция, в степном районе на юго-востоке штата Вашингтон для производства плутония для первых атомных бомб была выбрана Хэнфордская площадка. Ее относительная изоляция и близость к большим ресурсам воды и электроэнергии реки Колумбия сделали площадку площадью около 1500 квадратных километров кажущимся идеальным расположением. В течение сле-

дующих 44 лет, пока секретарь по энергетике Джон Херрингтон не заявил, что страна «купа­ется в плутонии»¹, девять хэнфордских реакторов произвели 67,4 тонны этого расщепляю­щегося материала².

По мере того, как затухает память о холодной войне, печальное наследство гонки ядер­ных вооружений нигде не проявляется так отчетливо, как в Хэнфорде, где хранится большая часть опасных побочных продуктов производства ядерного оружия в стране. Наследство Хэнфорда, составляющее около 60 процентов национальных оборонных высокоактивных отходов³, не имеет себе равных по величине и риску.

Соединенные Штаты приступили к решению этой проблемы, когда Конгресс установил процесс геологической утилизации оборонных и гражданских высокоактивных отходов зако­ном 1982 года о политике ядерных отходов. В следующем году МЭ выбрало боросиликатное стекло как предпочтительную форму утилизации оборонных высокоактивных отходов. От­вержденные отходы из Хэнфорда и четырех других площадок⁴ должны быть захоронены вместе с отработанным реакторным топливом МЭ и коммерческих организаций в одном и том же хранилище.

После более, чем 20 лет проверок, попыток, и растущих расходов, было переработано менее пяти процентов национальных оборонных высокоактивных отходов⁵. В Хэнфорде МЭ все еще находится на этапе проектирования и строительства. Успех этого беспрецедентного предприятия, стоимость которого оценивается от 41,6 до 56,9 миллиарда долларов⁶, в ос­новном зависит от решения трех ключевых проблем:

1. Можно ли будет безопасно провести переработку высокоактивных отходов в Хэнфорде?
2. Сможет ли МЭ ускорить полномасштабную уникальную операцию без существенных тех­нологических неисправностей?
3. Сможет ли неглубокое захоронение отходов из хэнфордских резервуаров на площадке обеспечить адекватную защиту здоровья и природных ресурсов в течение периода в не­сколько тысяч лет?

ВЫСОКОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ ХЭНФОРДА

Высокоактивные отходы были произведены в результате растворения 119 271 тонн ура­на в отработанном реакторном топливе⁷ и последующем извлечением плутония и других ма­териалов растворителем⁸. Из-за весьма высокой радиоактивности отходов обращение с ни-

¹ Robert Alvarez and Arjun Makhijani, *Radioactive Waste: the Hidden Legacy of the Nuclear Arms Race*, *Technology Review*, July 1988.

² U.S. Department of Energy, *Plutonium: The First 50 Years*, United States Plutonium Production, Acquisition, and Utilization from 1944 through 1994. Доступно в сети Интернет по адресу <http://www.osti.gov/html/osti/opennet/document/pu50yrs/pu50yc.html#ZZ15>, 20 July 2004.

³ U.S. Department of Energy, *Summary data on Radioactive Waste, Spent Nuclear Fuel and Con­aminated Media*, Office of Environmental Management, 2001.

⁴ Площадка Саванна-Ривер, Эйкен, штат Южная Каролина, национальная лаборатория Ай­дахо, Айдахо Фоллс, штат Айдахо, демонстрационный проект отверждения Уэст Вэлли, Уэст Вэлли, штат Нью-Йорк, и национальная лаборатория Ок-Ридж, Ок-Ридж, штат Теннесси.

⁵ United States General Accounting Office, *Report to the Chairman, Subcommittee on Oversight and Investigations, Committee on Energy and Commerce, House of Representatives, "Nuclear Waste: Challenges to Achieving Potential Savings in DOE's High-Level Waste Cleanup Program,"* GAO-03-593, June 2003. pp, 17, 20 (Hereafter known as GAO-03-593). "Неуправляемые превы­шения расходов, многочисленные отставания от планов, и безуспешные попытки разработки процессов обработки подняли общую оцениваемую стоимость программы высокоактивных от­ходов от примерно 63 миллиардов долларов в 1996 г. (когда были сделаны первые подробные оценки) до примерно 105 миллиардов долларов в 2003 г. "

⁶ GAO-03-593, 2003. p. 17 and p. 20.

⁷ U.S. Department of Energy, "Review of Generation and Flow of Recycled Uranium at Hanford," Rich­land Operations Office, DOE/RL-2000-43, Executive Summary, p. 2.

⁸ AEC, 1970. "Siting of Commercial Fuel Reprocessing Plants and Related Waste Management Fa­cilities, 10 CFR Part 50, 'Licensing of Production and Utilization Facilities,'" Federal Register,

ми должно проводиться дистанционно в сильно защищенных конструкциях. До недавних пор связанные с отходами долговременные опасности требовали, чтобы отходы утилизировались таким образом, чтобы они не представляли опасности для человека в течение 10 000 лет⁹. Однако, этот стандарт был поставлен под удар решением апелляционного суда США¹⁰, сославшимся на заключение Национального исследовательского совета о том, что пиковые радиационные дозы «могут проявиться в будущем через десятки или сотни тысяч лет»¹¹.

Эти отходы в Хэнфорде возникли в результате пяти химических процессов¹². После переработки и последующего радиоактивного распада¹³ высокоактивные отходы в Хэнфорде в настоящее время содержат приблизительно 194 мегаюри¹⁴ и занимают объем 54 миллиона галлонов (204 тысячи кубометров), хранящийся в больших подземных резервуарах¹⁵ (см. табл. 1). Во временной перспективе радионуклиды в резервуарах представляют потенциально значительную опасность для здоровья и природных ресурсов в период от 300 до более, чем 200 000 лет¹⁶.

Более, чем 96 процентов от общей радиоактивности отходов в резервуарах приходится на цезий-137 и стронций-90 (с периодами полураспада 30 и 29 лет соответственно). Эти большие количества радиостронция и радиоцезия вызывают опасения по безопасности из-за выделения тепла при распаде во время хранения, извлечения, и переработки¹⁷. В хэнфордских отходах содержится также большое количество долгоживущих продуктов деления и трансурановых элементов. Количество технеция-99 с периодом полураспада 200 000 лет почти в девять раз больше того, которое было выброшено в атмосферу во время всех испытаний ядерного оружия¹⁸. Из-за своей высокой подвижности технеций-99 может загрязнять

Vol. 35, No. 17530-17533, Atomic Energy Commission, Washington, B.C., November 14, 1970. Согласно этому руководящему документу высокоактивные отходы определяются как, "водные отходы, образующиеся при эксплуатации системы первого цикла экстракции растворителями, или их эквиваленты, и концентрированные отходы от последующих циклов экстракции, или их эквиваленты в установке для переработки облученного реакторного топлива."

⁹ U.S. Environmental Protection Agency, 40 CFR part 197, p. 10.

¹⁰ U.S. Court of Appeals for the District of Columbia Circuit, *Nuclear Energy Institute v. the Environmental Protection Agency*, No. 01-1258, July 9, 2004.

¹¹ National Research Council. Board on Radioactive Waste Management, *Technical Basis for Yucca Mountain Standards*, National Academies Press, Washington, D.C., 1995, p. 2.

¹² К ним относятся: (1) процесс с фосфатом висмута (BiPO₄) (1944-1956), (2) процесс REDOX (1952-1967); (3) экстракция урана из резервуаров с отходами растворителем (1952-1958); (4) процесс PUREX (1956-1972, 1983-1990); и (5) экстракция цезия и стронция из резервуаров для высокоактивных отходов растворителем (1968-1985).

¹³ National Research Council, Board on Radioactive Waste Management, *Science and Technology for Environmental Cleanup at Hanford*, National Academies Press, Washington, D.C., 2001, p. 21. Между 1944 и 1988 г.г., в Хэнфорде было произведено около 530 миллионов галлонов (1,9 миллиона кубометров) отходов, содержащих более, чем 800 мегаюри (без поправки на распад).

¹⁴ U.S. Department of Energy, Tank Waste Inventory Network System (TWINS) Best Basis Inventory, CH2M HILL, Richland, WA. September 2003. (Впоследствии называется как TWINS Data 2003.)

¹⁵ Hanlon, Waste Tank Summary Report for Month Ending December 31 2002, HNF-EP-0182, Rev. 177, February 2003, Prepared for the U.S. Department of Energy Assistant Secretary for Environmental Management, pp A-2. B-4.

¹⁶ Timothy J. Jarvis, Stewardship and the United States Nuclear Weapons Production Wastes: An Introduction, *Environmental Progress*, 21(2):72 (2002).

¹⁷ В период от конца 1960-х до середины 1980-х г.г. в Хэнфорде из нескольких резервуаров было извлечено приблизительно 130 мегаюри радиостронция и радиоцезия (с учетом поправки на распад) для предотвращения риска закипания отходов.

¹⁸ K. Tagami and S. Uchidas (2000). Global Fallout Technetium-99 Levels in Japanese Paddy Soils. *Proceedings of the IRPA 10 Conference*, Hiroshima May 2000 (доступно в сети Интернет по адресу <http://www.irpa.net/irpalO/cdrom/00362.pdf>), июль 2004 г. Общее количество технеция-99, произведенного во всех наземных испытаниях ядерного оружия в мире, может быть рассчитано на базе данных из отчета Научного комитета ООН по воздействию атомного излучения

источники воды в течение тысяч лет. В резервуарах с отходами содержится также более 1000 килограммов плутония-239¹⁹.

В резервуарах с отходами в Хэнфорде содержатся сложные смеси, которые могут быть классифицированы по 89 отдельным химическим профилям²⁰. Химические концентрации в каждом из резервуаров могут изменяться в широких пределах, вплоть до 100 процентов²¹. Ионы натрия (Na^+) составляют примерно 80 процентов от катионов по весу, за ними следуют ионы алюминия (примерно 5 весовых процентов). Присутствуют также большие концентрации катионов от конструкционных материалов, таких, как железо (Fe^{3+}), никель (Ni^{2+}), и хром (Cr^{3+})²². Основным химическим анионом в резервуарах является нитрат (NO_3^-), на который приходится около двух третей по весу. Другие распространенные анионы включают ионы гидроксидов (OH^-), нитриты (NO_2^-), карбонаты (CO_3^-), фосфаты (PO_4^{3-}), хлор (Cl^-), фтор (F^-), силикаты (SiO_4^{2-}) и сульфаты (SO_4^{2-})²³.

Хотя на радиоактивные материалы приходится около одного процента объема отходов в Хэнфорде, их вполне достаточно для того, чтобы сделать отходы крайне опасными; уровни накопления дозы внутри резервуаров достигают 10 000 рад/час²⁴. Существуют несколько форм и слоев отходов, которые «неоднородны во всех фазах, как внутри отдельного резервуара, так и среди различных резервуаров»²⁵. Обычно отходы находятся в трех основных формах:

- **Ил:** плотный, нерастворимый в воде компонент, который осаждается на дне резервуара, образуя толстый слой переменной консистенции.
- **Солевой осадок:** кристаллизованные солевые отходы, образующиеся поверх ила, которые в основном растворимы в воде.
- **Жидкость:** состоит из воды, растворенных солей, и других химических соединений, и располагается над плотными слоями, или между них, иногда погружаясь в солевой осадок.

1988 г. ("United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation" (UNSCEAR, 1988)). На основании оценки UNSCEAR образования цезия-137 в испытаниях ядерного оружия (960 ПБк = 26 миллионов кюри) и отношения технеция-99 к цезию-137 в момент детонации, равного 1: 7100, общее количество технеция, произведенного во всех наземных испытаниях ядерного оружия в мире, составляет 3 600 кюри.

¹⁹ TWINS Data 2003. Оцениваемый запас плутония-239 равен 68 800 кюри, что эквивалентно 1,032 тонны.

²⁰ American Chemical Society, "Hanford's Vitrification Challenge," *Technology News*, December 12, 2002.

²¹ Steven F. Agnew, Hanford Tank Chemical and Radionuclide inventories HDW Model Rev. 4, LA-UR-96-3860, Los Alamos National Laboratory.

²² U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, Hanford Tank Waste Remediation System High-Level Waste Chemistry Manual, Center for Nuclear Waste Regulatory Analysis, NUREG/CR-5717, 1999, p. 1-12. (Впоследствии называется как NUREG/CR-5717).

²³ U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, *Hanford Tank Waste Remediation System High-Level Waste Chemistry Manual*, Center for Nuclear Waste Regulatory Analysis, NUREG/CR-5717, 1999, p. 1-12. (Впоследствии называется как NUREG/CR-5717).

²⁴ National Research Council, Board on Radioactive Waste Management, *Research Needs for High-Level Waste Stored in Tanks and Bins at U.S. Department of Energy Sites*, 2001. National Academies Press, Washington, D.C, p. 18.

²⁵ National Research Council, Board on Radioactive Waste Management, *Nuclear Wastes: Technologies for Separations and Transmutation* (1996) National Academies Press, Washington, D.C (Впоследствии называется как NAS Technologies). p. 89.

Табл. 1. Состав запасов высокоактивных изотопов в Хэнфорде.

Радионуклиды (Ки)			
3H	1.04E+04	152Eu	1.71E+03
90Y	4.99E+07	14C	3.01E+03
90Sr	4.99E+07	137Cs	4.62E+07
60Co	8.08E+03	137mBa	4.37E+07
234U	2.21E+02	129I	4.79E+01
106Ru	1.02E+03	227Ac	1.30E+02
134Cs	1.82E+04	243Am	1.52E+01
233U	5.08E+02	239Pu	6.88E+04
244Cm	2.88E+02	235U	9.14E+00
238Pu	4.23E+03	228Ra	6.24E+01
63Ni	1.28E+05	242Cm	1.44E+02
242Pu	8.29E-01	154Eu	1.02E+05
226Ra	2.38E+02	229 Th	2.58E+01
237Np	1.33E+02	151Sm	3.35E+06
241Pu	1.25E+05	93Zr	4.42E+03
240Pu	1.22E+04	243Cm	1.24E+01
99Tc	2.85E+04	79Se	1.32E+02
232U	4.25E+01	126Sn	6.00E+02
125Sb	2.49E+04	236U	5.92E+00
231Pa	2.72E+02	113mCd	1.65E+04
59Ni	1.37E+03	93mNb	3.86E+03
155Eu	7.69E+04	232Th	8.12E+00
241Am	1.43E+05	238U	2.01E+02
		Всего	1.94E+08
Прочие составляющие (кг)			
F	1.08E+06	U (всего)	6.02E+05
Al	8.05E+06	Zr	4.09E+05
Fe	1.25E+06	Bi	5.61E+05
La	3.69E+04	Ca	2.55E+05
Pb	7.84E+04	Cl	8.64E+05
Mn	1.65E+05	C (CO3)	9.80E+06
Hg	1.83E+03	C (органика)	1.27E+06
Ni	1.16E+05	PO4	5.32E+06
K	9.18E+05	NO3	5.48E+07
Si	8.01E+05	NO2	1.21E+07
Na	4.80E+07	SO4	3.66E+06
Sr	3.96E+04	Всего	1.51E+08
Cr	6.05E+05		

Источник: Tank Waste Inventory Network System, Best Basis Inventory, September 2003.

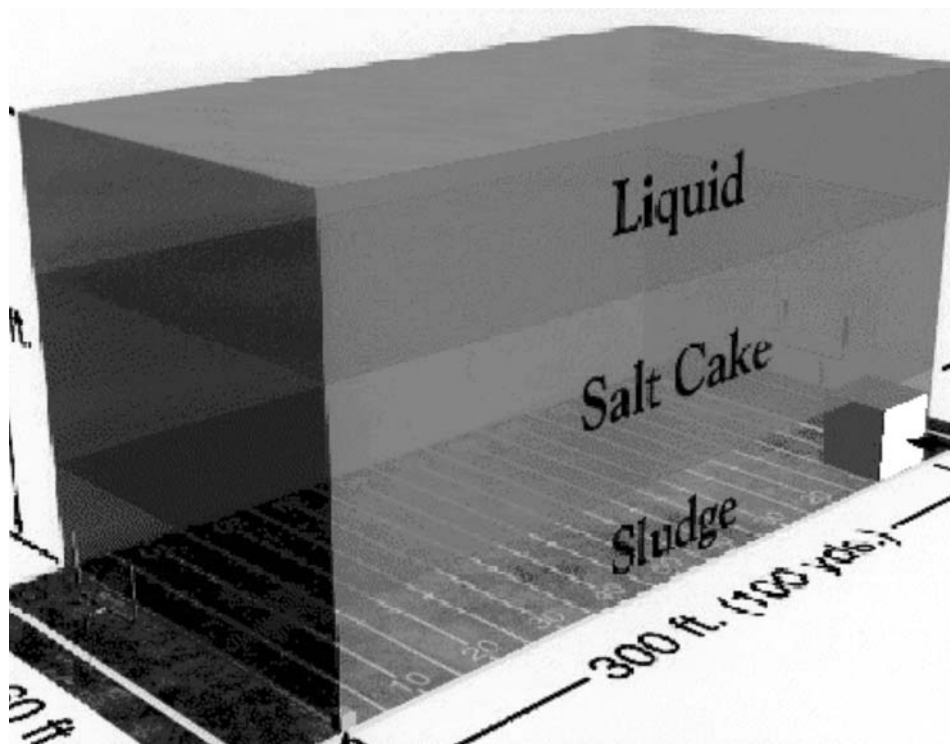


Рис. 1. Объем и концентрация радионуклидов в высокоактивных отходах Хэнфорда. Растворимые отходы составляют около 80 процентов по объему и содержат около 50 процентов от всей радиоактивности. Около 96 процентов радиоактивности растворимых отходов приходится на цезий-137. Нерастворимый ил содержит 95 процентов всего стронция-90 и более 90 процентов трансурановых элементов. Надписи на рисунке (сверху вниз): 1 – жидкость; 2 – солевой осадок; 3 – ил. Общий объем отходов составляет 90 x 50 x 45 метров. Источник: DOE/RL-98-34.

Основа обращения с высокоактивными отходами в Хэнфорде была установлена в конце второй мировой войны для выполнения производственных заданий и уменьшения стоимости хранения отходов. Из-за того, что отходы, поступающие с заводов по переработке, были кислотными, правительство США решило нейтрализовать их, добавляя воду и гидроокись натрия (щелочь) для того, чтобы для оболочки резервуаров можно было использовать дешевую углеродистую сталь, а не более дорогую высококачественную нержавеющую сталь. Решение о поддержании высокого pH для уменьшения коррозии стальных оболочек значительно увеличило объем отходов²⁶.

Отходы хранятся в двух основных типах резервуаров (см. рис. 2 и 3).

Резервуары с одинарной оболочкой (РОО). Имеется 149 резервуаров с одинарной стальной оболочкой толщиной $\frac{1}{4}$ дюйма (6,3 миллиметра), окруженной бетоном. Их емкость лежит в пределах от 55 000 до 1 000 000 галлонов (от 200 до 4000 кубометров) и они были построены в период от 1943 до 1964 г.г. Резервуары с одинарной оболочкой собраны в 12 групп. С 1980 года в резервуары с одинарной оболочкой не добавлялось никаких отходов. По оценкам, в 67 таких резервуарах произошли утечки с общим объемом более 1 миллиона галлонов (4000 кубометров)²⁷. В резервуарах с одинарной оболочкой хранится около 132 500 кубометров солевого осадка, ила и жидкости, в которых содержится 110 миллионов кюри радиоактивности²⁸. Около 90 процентов отходов в резервуарах с одинарной оболочкой приходится на нитраты и нитриты. Около 75 процентов радиоактивности в этих резервуарах обусловлено стронцием-90, сосредоточенном в иле, а 24 процента – цезием-137 в раство-

²⁶ NAS Technologies. p. 92.

²⁷ B. M. Hanlon, Waste Tank Summary Report for Month Ending December 31, 2002, HNF-EP-0182, Rev. 177. CH2MHILL Hanford Group, Richland, WA.

²⁸ K. A. Gasper, Environmental Management Science Program Workshop Hanford Tank Farm Overview, CH2MHill Hanford Group, May 6, 2003. p. 3.

римоном солевом осадке и жидкости.

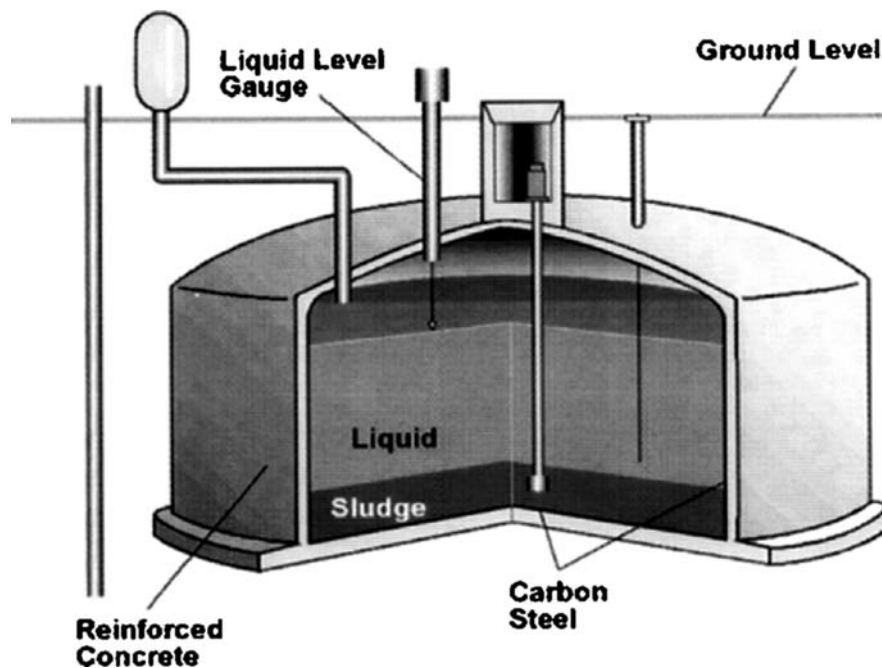


Рис. 2. Резервуар с одинарной оболочкой. Надписи на рисунке (слева направо): 1 - железобетон; 2 - измеритель уровня жидкости; 3 – ил; 4 - жидкость; 5 - углеродистая сталь; 6 - уровень земли. Источник: Pacific Northwest National Laboratory.

Резервуары с двойной оболочкой (РДО). В период с 1968 по 1986 г.г. были построены 28 резервуаров с двойной оболочкой с емкостью от 1 до 1,16 миллиона галлонов (от 4000 до 4500 кубометров). В них содержится 83 279 кубометров, или 23 миллиона галлонов, в основном в виде жидкости (около 80 процентов), а также ила и солей²⁹. оцениваемое количество радиоактивности в резервуарах с двойной оболочкой примерно равно 80 миллионам кюри (цезий-137 – 72 процента и стронций-90 – 27 процентов)³⁰. Также, как в резервуарах с двойной оболочкой, отходы в основном состоят из солей натрия, включая также дополнительные гидроокислы, фосфаты, карбонаты и сульфаты металлов. Ни в одном из резервуаров с двойной оболочкой утечки не наблюдалось, но по крайней мере в одном из них возникли серьезные проблемы с коррозией.³¹ Техническая база для управления коррозией в резервуарах с двойной оболочкой с помощью химических средств до сих пор далека от доказанной³².

²⁹ Там же.

³⁰ TWINS Data 2003.

³¹ Defense Nuclear Facilities Safety Board, March 30, 2001 TO: K. Fortenberry, Technical Director, FROM: D. Grover and M. Satan, Hanford Site Representatives, SUBJ: Activity Report for the Week Ending March 30, 2001 (Впоследствии называется как DNFSB Staff Report) Согласно этому отчету: "Коррозия привела к уменьшению толщины первичной оболочки с внутренней стороны до 19,4 процента в соответствии с прежним уровнем отходов. На этом уровне отходы не удовлетворяют техническим требованиям в течение нескольких лет. Текущий уровень отходов находится ниже этой полосы. Реальное уменьшение толщины может быть значительно больше, поскольку наблюдается значительное появление выемок на кольцевой стороне первичной оболочки и в данном анализе не была проведена количественная оценка глубины этих выемок."

³² Defense Nuclear Facility Safety Board, Letter to: Paul M. Golan, Acting Assistant Secretary for Environmental Management, U.S. Department of Energy, From: John Conway, Chairman, January 18, 2005. Согласно этому письму: "В последнем отчете экспертной группы, организованной подрядчиком по Хэнфордским резервуарам, и состоящей из известных в стране экспертов по химии и коррозии, Expert Panel Workshop for Hanford Site Double-Shell Tank

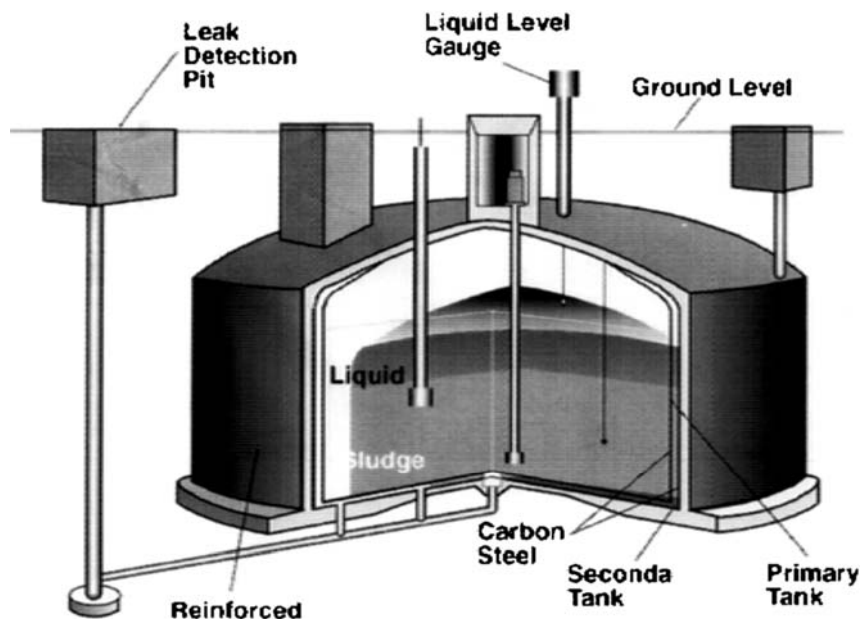


Рис. 3. Резервуар с двойной оболочкой. Надписи на рисунке (слева направо): 1 – колодец обнаружения утечки; 2 - железобетон; 3 – жидкость; 4 - ил; 5 - углеродистая сталь; 6 - измеритель уровня жидкости; 7 – вторичный резервуар; 8 - уровень земли; 9 – первичный резервуар. Источник: Pacific Northwest National Laboratory.

ПОСЛЕДСТВИЯ ИМПЕРАТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА

Усилия по снижению расходов на хранение отходов в течение периода производства ядерного оружия создали значительные проблемы. Приблизительно от 120 до 130 миллионов галлонов (около 500 тысяч кубометров) высокоактивных отходов были слиты в землю³³. Отходы часто перемещались из резервуара в резервуар, без соответствующей документации³⁴, не обращая большого внимания на химическую совместимость, тепловые нагрузки, или концентрации радионуклидов. В течение переработки отходов было добавлено примерно 300 химических соединений и химических продуктов³⁵, включая по крайней мере 5000 тонн органических веществ³⁶. Кроме того, в несколько резервуаров было сброшено сотни тонн цемента³⁷ и

Waste Chemistry Optimization, RPP-RPT-22126, указывалось, '... из-за недостаточности и фрагментарной природы доступных данных по коррозии, относящихся к резервуарам с двойной оболочкой (РДО), в настоящее время невозможно предоставить ясное техническое основание для химического контроля отходов в резервуарах с двойной оболочкой (РДО)' Без ясного технического основания для контроля коррозии в резервуарах с двойной оболочкой (РДО) изменения или исключения из технических требований по безопасности (ТТБ) приведут к высокой степени неопределенности. Экспертная группа предлагает работать вне установленных пределов химического контроля в зависимости от успешного выполнения ее рекомендаций. Совет согласен с выводами и рекомендациями экспертной группы."

³³ National Research Council, Board on Radioactive Waste Management, *Science and Technology for Environmental Cleanup at Hanford*, Academies Press, Washington, D.C. 2001, Table 2.2 on p. 22. Общий выброс радиоактивности оценивается в интервале от 65 000 до 4,7 миллиона кюри.

³⁴ NUREG/CR-5751, p. 1-9 "Записи о составе и объемах перемещенных в баки отходов обычно неполны или вообще отсутствуют."

³⁵ NUREG/CR-5751, p. 3-2.

³⁶ NUREG/CR-5751, p. 3-6.

³⁷ Vadose Zone Characterization Project at the Hanford Tank Farms, Tank Summary Data Reports for Tank BY-105, Prepared by the U.S. Department of Energy, Grand Junction Office, Grand Junction, Colorado., GJ-HAN-22, March 1996. Доступно в сети Интернет по адресу

диатомитовой земли³⁸ (см. рис. 4). Отходы испарялись, доводились до кипения, и коррозия, вместе с осаждением горячего ила на дне резервуаров, приводила к разрушению стальных оболочек.



Рис. 4. Диатомитовая земля в хэнфордском резервуаре 104-U (емкость 2000 кубометров). Источник: Pacific Northwest National Laboratory.

Такая практика теперь создала большие нерешенные проблемы по характеристике отходов в Хэнфорде, влияющие на безопасность и утилизацию. В дополнение ситуация ухудшилась из-за десятилетий пренебрежения, которые привели к тому, что высокоактивные отходы из трети хэнфордских резервуаров (67 резервуаров с одинарной оболочкой) протекли, некоторые из них достигли подземных вод и в конце концов попали в реку Колумбия³⁹.

Летом 1990 года несколько расследований Конгресса и МЭ выявили серьезные опасения по поводу безопасности, относящиеся к риску взрывов и пожаров в хэнфордских резервуарах с радиоактивными отходами⁴⁰. В конце концов 60 резервуаров были помещены в «лист ожидания», потребованный Конгрессом, который был рассмотрен и проанализирован. В августе 2001 года МЭ объявило, что оно разрешило все проблемы безопасности резервуаров с высокоактивными отходами⁴¹, которые были вскрыты ранее⁴².

Однако, примерно в то же время ЯРК США предупредила, что хэнфордские резервуары с высокоактивными отходами «вызывают незамедлительные опасения», в частности, из-за

<http://www.gjo.doe.gov/programs/hanf/BYReport/bytsdr/By-105/report/content.htm>, 20 July 2004 (Впоследствии называется как Tank Farm Summary Data Report.).

³⁸ Tank Farm Summary Data Report for Tanks TX116 (95 tons) & 117 (41 tons), SX-133 (41 tons), TY-106 (30 tons), U-104 (60 tons). Доступно в сети Интернет по адресу <http://www.gjo.doe.gov/programs/hanf/TXREPORT/REPORT/tsdr.html>, 20 July 2004.

³⁹ DOE-ORP 2002-03, p. 10.18.

⁴⁰ Thomas W. Lippman, Danger of Explosion at Nuclear Plant Covered Up, Energy Department Probe Says, *Washington Post*, August, 1, 1990.

⁴¹ Вопросы безопасности включают воспламенение ферроцианидов, высокую температуру, ядерную критичность, воспламеняемые органические материалы, и воспламеняемые газы.

⁴² U.S. Department of Energy, Press Release, Final 24 tanks removed from watch list, August 27, 2001.

старения и ухудшения характеристик⁴³. Основное внимание безопасности переработки отходов, отметила ЯРК, не должно терять из виду резервуары с отходами из-за значительного риска для населения и окружающей среды, вызываемого продолжающейся эксплуатацией резервуаров и связанными с ней утечкой и потенциальной возможностью коллапса и взрыва»⁴⁴.

Во всех резервуарах с высокоактивными отходами в Хэнфорде образуются потенциально взрывоопасные газы⁴⁵. Радиация, тепло распада, и химические изменения в отходах образуют токсические, воспламеняемые, и потенциально взрывающиеся газы, такие, как водород, окислы азота, аммиак, и летучие органические вещества, которые могут накапливаться в отходах и внезапно высвободиться при извлечении⁴⁶. Поддерживаемые ЯРК исследования показали, что «даже очень малые выбросы могут скапливаться в оборудовании и ли в плохо вентилируемых резервуарах и приводить к опасности воспламенения газа»⁴⁷.

Один из наиболее проблемных, и, возможно, самый опасный резервуар, SY-101, продолжает представлять потенциально существенную опасность через десятилетия после того, как эта опасность была впервые обнаружена. В октябре 2003 года, после того, как резервуар был объявлен безопасным, и за несколько месяцев до этого в него были добавлены отходы, было заявлено, что в резервуаре SY-101 может произойти выброс большого количества всплывающего газа, и что в нем имеется достаточно оставшегося газа, чтобы было достигнуто 100 процентов от нижнего предела воспламеняемости»⁴⁸.

НЕТ МЕСТА В ХРАНИЛИЩЕ?

В 1990 году МЭ объявило, что его основной задачей является переработка и утилизация высокоактивных отходов из всех 177 резервуаров в Хэнфорде. Однако, вскоре стало ясно, что геологическое захоронение всех высокоактивных отходов в Хэнфорде будет означать изготовление 220 000 стеклянных блоков⁴⁹, что увеличит перевозку отходов и ожидаемую стоимость. Закон 1982 года о политике ядерных отходов накладывает предел для предлагаемой площадки в Юкка Маунтин в 70 000 тонн тяжелого металла⁵⁰. Если этот предел будет превзойден, то закон требует выбора второго хранилища. Отработанное топливо и высокоактивные отходы МЭ составляют не более 10 процентов от этого предела.

Сокращение геологического захоронения высокоактивных отходов включает сложную систему фракционирования отходов⁵¹ и многократных ионообменных процессов⁵², которые

⁴³ Overview and Summary of Involvement with DOE in the Tank Waste Remediation System-Privatization (TWRS-P) Program, NUREG-1747 June 29, 2001. p. 249 (Впоследствии называется как NUREG-1747).

⁴⁴ NUREG-1747, p. 253.

⁴⁵ R. E. Gephart and R. E. Lundgren. Hanford Tank Cleanup: A Guide to Understanding the Technical Issues. PNNL-10773. Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory. 1997.

⁴⁶ U.S. Department of Energy, Defense Nuclear Facility Safety Board (DNFSB) Hanford Staff Reports, February 15, 2002, August 2, 2002, October 25, 2002. (Впоследствии называется как DNFSB Staff Report). Согласно этим еженедельным отчетам, захваченные в солях горючие газы, такие, как водород, метан, и аммиак, высвобождаются в верхнее пространство резервуара. С начала ускоренной программы очистки в начале 2002 г. в нескольких резервуарах, где проводилось перемещение отходов, наблюдались выбросы газа с концентрацией, превышающей нижний взрывоопасный предел в 25 процентов, что потребовало приостановления работ.

⁴⁷ NUREG/CR-5717, p. xvii.

⁴⁸ DNFSB Staff Report October 10, 2003.

⁴⁹ NAS 1996, p. 94.

⁵⁰ 42 U.S.C. 10114 (d) "Решение Комиссии, разрешающее первое такое применение, должно запрещать размещение в первом хранилище количества отработанного топлива, содержащего более 70 000 тонн тяжелого металла, или количества отвержденных высокоактивных отходов, произведенных при переработке такого количества отработанного топлива до тех пор, пока не вступит в эксплуатацию второе хранилище." [Курсив добавлен]

⁵¹ NUREG 1747, p. 1. Table 2, pp. 1-3. "МЭ использует термин LAW для обозначения низкоактивных отходов.... Низкоактивные отходы в основном находятся в жидкой фазе с растворен-

были включены в систему переработки отходов хэнфордских резервуаров (TWRS) в 1996 году. Сначала растворимые жидкости и соли, составляющие более 80 процентов от общего объема, которые МЭ называет отходами низкой активности (LAW), отделяются от оставшихся в иле высокоактивных отходов. Растворимые отходы содержат около половины общей радиоактивности, включая около 96 процентов всего цезия-137 и основную часть нескольких долгоживущих радионуклидов, таких, как технеций-99, селен-79, иод-129, и углерод-14. Нерастворимый ил в резервуарах содержит около 95 процентов всего стронция-90 и более 90 процентов долгоживущих трансураниевых элементов.

Используя технологии разделения, МЭ извлечет по крайней мере 98 процентов радиоактивности из растворимых отходов для того, чтобы их можно было захоронить на площадке⁵³. Обработанный нерастворимый ил будет скомбинированным с отделенными радионуклидами от переработки отходов низкой активности и отверждены в стеклоплавильной печи для высокоактивных отходов, и будут храниться на площадке, ожидая геологического захоронения. Дезактивированные отходы низкой активности также будут переведены в форму стекла⁵⁴. В результате в проекте переработки отходов из резервуаров будет изготовлено приблизительно 14 500 стеклянных контейнеров с высокоактивными отходами (15 700 кубометров) и более 100 000 тысяч стеклянных блоков низкой активности (271 000 кубометров)⁵⁵. (См. рис. 5).

Однако, в феврале 2004 года МЭ заявило, что «в хранилище Юкка Маунтин не будет места для всех оборонных высокоактивных отходов»⁵⁶. Для того, чтобы разместить растущие запасы отработанного реакторного топлива⁵⁷, МЭ решило сократить утилизируемое ко-

ными составляющими, такими, как нитраты и цезий; они могут содержать также до 2 процентов взвешенных твердых частиц, или твердых частиц, захваченных иным способом при перемещении отходов. Определяются три категории низкоактивных отходов: категория А является стандартной, категория В содержит большее количество цезия, и категория С содержит большие количества стронция и трансураниевых элементов.... Низкоактивные отходы могут образовываться из жидкой фазы резервуаров с двойной оболочкой (РДО) и в операциях по смыву твердой фазы. В законодательной перспективе низкоактивные отходы все еще являются высокоактивными отходами и обладают высокими уровнями излучения, требующими обращения внутри защищенных структур. МЭ идентифицирует твердые фазы как высокоактивные отходы, обозначаемые как категория D.... Категория D содержит в качестве радионуклидов цезий, стронций, и трансураниевые элементы. Основную часть химических соединений составляют оксиды, гидроокислы, нитраты, фосфаты, и алюминаты металлов."

⁵² U.S. Department of Energy, Technical Basis for Classification of Low-Activity Waste Fraction from Hanford Site Tanks Westinghouse Hanford Corporation, WHC-SD-WM-TI-699, September 1996. (Впоследствии называется как WHC-SD-WM-TI-699.)

⁵³ U.S. Nuclear Regulatory Commission, Letter to: Mr. Jackson Kinzer, Office of Tank Remediation System, U.S. Department of Energy, Richland Operations Office, From: Carl J. Paperiello, Director, Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, June 9, 1997.

⁵⁴ U.S. Department of Energy, Final Environmental Impact Statement for a Geologic Repository for the Disposal of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste at Yucca Mountain, Nye County, Nevada DOE/EIS-0250, February 2002, Appendix A, Table A-28. (Впоследствии называется как DO/EIS-0250.) МЭ оценивает общее количество химических соединений, находящихся в стеклообразной форме высокоактивных отходов в Хэнфорде, в 44 000 кг, по сравнению с общим количеством в 15,1 миллиона килограммов, которые, по оценкам, находятся в резервуарах хранилищ.

⁵⁵ DOE/EIS-0250, February 2002, Appendix A, p. A-39.

⁵⁶ Statement of Jurisdiction, U.S. Ninth Circuit Court of Appeals, Re: *NRDC v. Abraham*, 244 F.3d 742 (9th Cir. 2003), January 29, 2004, p. 40.

⁵⁷ DOE/EIS-0250, February 2002, Appendix A, Tables A-8, A-20 and A-27, на страницах A-16, and A-40, соответственно. На основании этих таблиц, МЭ определило, что приблизительно 63 000 тонн общей вместимости хранилища Юкка Маунтин должно быть зарезервировано для коммерческого отработанного ядерного топлива. Оставшиеся 7 000 тонн (или 10 процентов) вместимости хранилища будут доступны для размещения 2 333 тонн отработанного ядерного топлива МЭ и приблизительно 8 315 канистр (4 667 тонн), содержащих отвержденные высокоактивные радиоактивные отходы из всех оборонных источников. Однако, МЭ оценивает, что если

личество до менее половины стеклянных блоков, которые, как ожидается, должны быть изготовлены из всех высокоактивных отходов МЭ⁵⁸. В предположении пропорционального сокращения утилизации, доля Хэнфорда будет уменьшена на более, чем 60 процентов. Ожидается, что тысячи контейнеров с высокоактивными отходами будут оставаться в Хэнфорде и на других площадках, дожидаясь утилизации во втором хранилище (см. рис. 6).

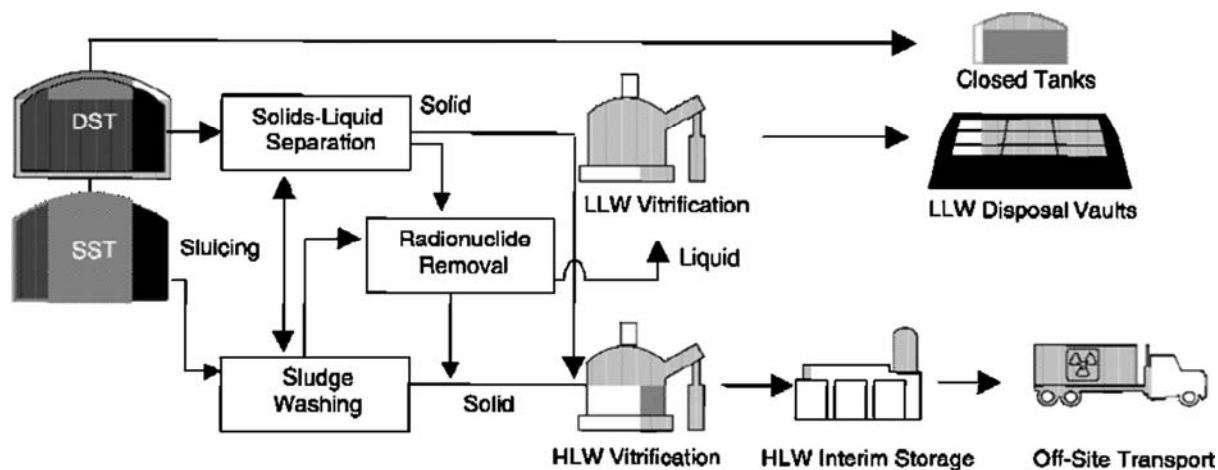


Рис. 5. Упрощенная схема системы подготовки отходов из резервуаров (TWRS) 1996 – 2002 г.г. надписи на рисунке (слева направо и сверху вниз): 1 – резервуар с двойной оболочкой; 2 – резервуар с одинарной оболочкой; 3 – промывка; 4 – разделение жидкой и твердой фаз; 5 – смыв ила; 6 – твердая фаза; 7 – извлечение радионуклидов; 8 – твердая фаза; 9 – отверждение низкоактивных отходов; 10 - отверждение высокоактивных отходов; 11 – жидкость; 12 – временное хранение высокоактивных отходов; 13 – закрытые резервуары; 14 – камеры утилизации низкоактивных отходов; 15 – транспортировка с площадки. Источник: NAS Research Needs for High Level Wastes Stored in Bins and Tanks at U.S. Department of Energy Sites, 2001.

Решение МЭ сократить геологическую утилизацию оборонных высокоактивных отходов было основано на сделанных в 1985 году гипотетических предположениях о том, что типичный контейнер, изготовленный на площадке Саванна-Ривер, будет эквивалентен 0,5 тонне тяжелого металла⁵⁹. Поскольку из оборонных высокоактивных отходов в процессе переработки извлекается почти весь уран, трудно сделать сравнения, основанные на содержании урана в коммерческом отработанном реакторном топливе. С учетом этой проблемы МЭ предположило, что в каждом контейнере будет содержаться 150 000 кюри⁶⁰. На основании этой формулы МЭ оценило в 1985 году, что 21 000 контейнеров будет «приблизительно эквивалентна 10 000 тонн тяжелого металла коммерческих высокоактивных отходов»⁶¹.

все лицензии коммерческих ядерных установок будут продлены на 10 лет, к 2046 году будет иметься в наличии приблизительно 105 000 тонн коммерческого отработанного ядерного топлива, и что в 2035 г. будет иметься приблизительно 2 500 тонн отработанного ядерного топлива МЭ и 22 280 канистр высокоактивных отходов МЭ.

⁵⁸ DOE/EIS-0250 February 2002, Appendix A., p. 40.

⁵⁹ U.S. Department of Energy, an Evaluation of Commercial Repository Capacity for the Disposal of Defense High-Level Waste, DOE/DP0021/1 June 1985.

⁶⁰ U.S. Nuclear Regulatory Commission. Memorandum for Joseph Browning, Director, Division of Waste Management, From: Neil J. Numarck, Policy and Program Control Branch, Subject: Clarification of DOE-Richland Comments on Defense Waste Commingling Study, March 14, 1985.

⁶¹ Там же.

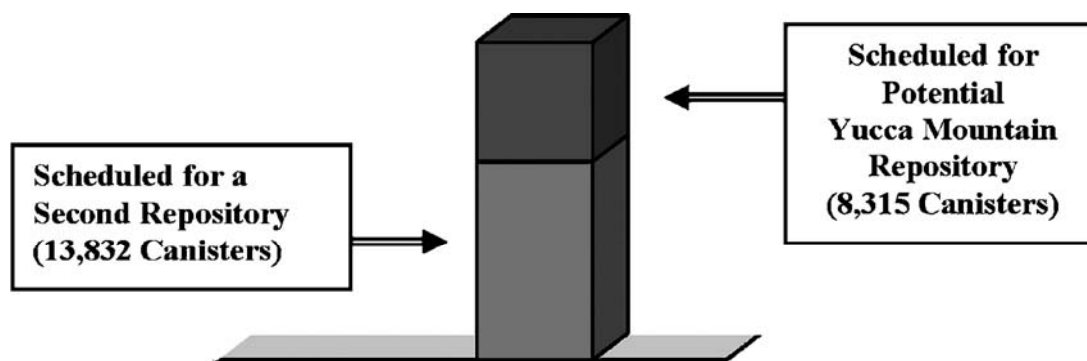


Рис. 6. Планируемая утилизация контейнеров с высокоактивными отходами МЭ, предназначенными для второго хранилища (13 832 контейнера), и предназначенными для потенциального хранилища Юкка Маунтин (8 315 контейнеров). Надписи на рисунке (слева направо): 1 – предназначено для второго хранилища (13 832 контейнера); 2 – предназначено для потенциального хранилища Юкка Маунтин (8 315 контейнеров). Источник: DOE/EIS-0250, Appendix A.

Предположение МЭ о полном количестве контейнеров, посылаемых на утилизацию в хранилище, также «базировалось на утилизации на месте старых отходов, которые нельзя просто извлечь из 149 резервуаров с одинарной оболочкой»⁶².

Реальные производственные данные показывают, что критерии МЭ не поддерживаются текущей загрузкой отходов в стеклянные контейнеры с высокоактивными отходами на площадке Саванна-Ривер. Начиная с 1996 года, примерно в 1 500 контейнерах, изготовленных на площадке Саванна-Ривер, в каждом контейнере содержалось в среднем от 3 500 кюри⁶³ до 10 500 кюри⁶⁴.

Критерии на базе риска, основанные на концентрации радиоактивности, или радиотоксичности, были определены национальным исследовательским советом в 1999 году; они позволяют утилизацию «всех высокоактивных отходов МЭ»⁶⁵. МЭ согласилось с этим в 2002 году, указав, что утилизация всех планируемых контейнеров с высокоактивными отходами «не изменит кумулятивного воздействия».

Согласно окончательному заявлению по воздействию на окружающую среду для хранилища Юкка Маунтин, выпущенному в 2002 году, хранилище не имеет ограничений по пространству, запрещающих утилизацию 22 100 контейнеров, но МЭ предпочло игнорировать основанные на риске подходы к размещению оборонных высокоактивных отходов, потому что они «изменяют количество контейнеров ... использованных в анализе для предлагаемого действия»⁶⁶. На основании текущей средней концентрации радионуклидов в контейнерах с высокоактивными отходами, изготовленных на площадке в Саванна-Ривер, общее количество

⁶² Там же.

⁶³ Arjun Makhijani, and Michelle Boyd, Nuclear Dumps by the Riverside: Threats to the Savannah River from Contamination at the Savannah River Site, Institute for Energy and Environmental Research, March 11, 2001, Takoma Park MD, p. 22.

⁶⁴ Mathew Wald, An Effort on Atomic Waste is Called a Failure, *New York Times*, March 11, 2004.

⁶⁵ National Research Council, Board on Radioactive Waste Management, *Alternative High-Level Waste Treatments at the Idaho National Engineering and Environmental Laboratory*, National Academy Press, Washington, B.C. pp. 85-86. "Другое возможное преобразование может быть основано на радиоактивности, измеряемой в кюри, с использованием того факта, что 1 тонна тяжелого металла реактора SBF с выгоранием 30 000 мегаватт-дней содержит приблизительно 300 000 кюри (Ки) после 10 лет охлаждения. В результате 0,5 тонны тяжелого металла соответствуют приблизительно 150,000 Ки высокоактивных отходов (примерно одну канистру размера Саванна-ривер). Еще одно другое преобразование может базироваться на радиотоксичности, с использованием законодательных пределов в документе 10CFR часть 20 для сравнения долговременных характеристик коммерческого отработанного ядерного топлива с высокоактивными отходами МЭ на основании вклада содержащихся в них долгоживущих радионуклидов в радиотоксичность после 1 – 10 тысяч лет."

⁶⁶ DOE/EIS-0250, February 2002, p. 8.6.

во контейнеров и поставок в хранилище Юкка Маунтин может быть существенно большим, что вызовет увеличение расходов.

В 1996 году национальный исследовательский совет отметил, что технические факторы не ограничивают утилизацию оборонных высокоактивных отходов в хранилище Юкка Маунтин. «Поскольку емкость хранилища указывается в эквивалентных тоннах тяжелого металла [утилизация 220 000 контейнеров] не может серьезно повлиять на правила окончательного размещения в геологическом хранилище». Однако, «их большое количество, очевидно, создаст проблемы ... которые, в свою очередь, вызовут затруднения с общественным согласием»⁶⁷.

В своих решениях МЭ не касается серьезных несоответствий в критериях 1985 года, использованных для оправдания ограниченной утилизации оборонных высокоактивных отходов. Хотя МЭ признает, что все планируемые контейнеры с оборонными высокоактивными отходами могут быть размещены на потенциальной площадке захоронения Юкка Маунтин, с учетом критериев, основанных на концентрации радионуклидов и токсичности, МЭ не приводит количественных аргументов против использования этих критериев. Может быть, расходы на операции и утилизацию будут слишком высоки, или существуют физические и социальные препятствия, которые ограничивают утилизацию оборонных высокоактивных отходов на потенциальной площадке захоронения Юкка Маунтин. Однако, эти опасения не выделяются в политических документах МЭ, ограничивающих утилизацию оборонных высокоактивных отходов. Вместо этого МЭ, как представляется, опирается на устаревшие предположения и сомнительные выводы.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

«Безопасность быстрого пути»

Отверждение хэнфордских высокоактивных отходов требует высокой степени безопасности, в особенности потому, что этот проект является крупнейшим уникальным проектом, а также крупнейшим проектом такого рода в мире⁶⁸ (см. Приложение А). На заводе по переработке отходов будут обрабатываться десятки мегаюри радиоактивных веществ, что создает потенциальный риск утечек, ядерной критичности, взрывов, пожаров, и крупных выбросов в окружающую среду⁶⁹. ЯРК США рассматривает хэнфордский завод по отверждению высокоактивных отходов как обладающий запасами радиоактивности и последствиями аварии, сравнимыми с атомной электростанцией⁷⁰. Основными радионуклидами, рассматриваемыми в качестве опасности облучения при переработке, являются углерод-14, стронций-90, иод-129, и цезий-137⁷¹.

До 2001 года ЯРК участвовала в процессе установления правил безопасности на хэнфордском заводе по отверждению отходов согласно меморандуму о взаимопонимании, подписанному в январе 1997 года⁷². Из-за того, что завод по отверждению должен был быть ча-

⁶⁷ NAS Technologies. p. 94.

⁶⁸ NUREG-1747, p. xi. "Плавились печи представляют несколько вопросов из-за своих размеров, вместимости, и потоков на площади поверхности, все которые делают плавились печи для низкоактивных отходов самыми крупными среди используемых для отверждения низкоактивных отходов установок во всем мире."

⁶⁹ NUREG-1747, Table 4. pp.55-57.

⁷⁰ NUREG-1747, p. 26.

⁷¹ NUREG/CR-5717, p. 1-18.

⁷² NUREG-1747, p. 199. Области участия ЯРК включают: организацию и общую информацию, деятельность по обеспечению безопасности и регулятивным вопросам, инспекции, сейсмические и строительные соображения, анализ опасностей и безопасности, пакет утверждения стандартов (документ по требованиям безопасности и отчет об анализе опасностей) и исходный отчет по анализу безопасности, стандартный обзорный план методологии радиационной безопасности и оценки дозы, процесс критической безопасности и химическая безопасность, пакет утверждения стандартов (документ по требованиям безопасности и отчет об анализе опасностей) и исходный отчет по анализу безопасности, вопросы пожаро- и

ственным предприятием, меморандум о взаимопонимании предназначался для разработки программы регулирования, которая позволила бы перейти к контролю ЯРК.

Приняв на себя эту новую обязанность, ЯРК столкнулась с серьезными различиями в регулировании безопасности между ЯРК и МЭ. Например, внутреннее регулирование безопасности в МЭ в основном производится через систему «Приказов»⁷³, которые сами по себе не являются юридически обязывающими, а реализуются через требования контракта. По своим контрактам «стоимость плюс фиксированная прибыль» МЭ должно оплачивать все дополнительные расходы на выполнение приказов по безопасности. Поскольку приказы МЭ не подпадают под действие закона об административных процедурах, они могут быть изменены на отдельных площадках без оповещения или участия общественности.

В 1988 году был создан совет по безопасности оборонных ядерных установок, который обеспечивает независимое наблюдение за оборонными ядерными установками МЭ⁷⁴. С момента своего образования совет по безопасности оборонных ядерных установок рассматривает вопросы безопасности, относящиеся к работам с высокоактивными отходами в Хэнфорде. Совет по безопасности оборонных ядерных установок не имеет регулятивных полномочий и может только выдавать рекомендации секретарю по энергетике.

Напротив, ЯРК обладает хорошо развитой системой формальных правил, которые имеют силу закона, подчиняются закону об административных процедурах, и выпускаются для получателей лицензий в качестве обязательных требований.

Однако, в мае 2000 года МЭ отказалось от приватизации в Хэнфорде по причинам стоимости⁷⁵. Впоследствии МЭ прекратило участие ЯРК и установило внутреннее регулирование по своей традиционной контрактной системе управления и эксплуатации на базе «стоимости плюс фиксированной прибыли».

В своем докладе от июня 2001 года ЯРК указала на два десятка серьезных проблем безопасности и на более 50 специальных вопросов в текущем проекте и подходе, которые все еще не были разрешены⁷⁶. «Было обнаружено, что несколько сценариев, включающих большие радиохимические запасы (в резервуарах), воспламеняющиеся газы, взаимодействия с органическими ионообменными смолами, стеклоплавильные печи, и химические эффекты в холодном состоянии», согласно ЯРК, «имеют потенциальные последствия аварий на персонал и население со значительной серьезностью и риском»⁷⁷.

ЯРК обнаружила, что на заводе «имеется много запасенной химической энергии для мгновенных потенциальных событий, включающих радионуклиды их мобильной форме»⁷⁸, и поэтому радиологические последствия для населения могут приводить к дозам в сотни или тысячи бэр.

Прежде, чем прийти к этому заключению, ЯРК активно участвовала в разработке документированного анализа безопасности, необходимого документа по обеспечению безопасности, который охватывает проектирование, строительство, и эксплуатацию ядерной уста-

взрывобезопасности, защита окружающей среды, пакет утверждения стандартов (документ по требованиям безопасности и отчет об анализе опасностей) и исходный отчет по анализу безопасности, обеспечение качества.

⁷³ U.S. Department of Energy, Directives, Office of Management Communication, адрес в сети Интернет <http://www.directives.doe.gov/directives/current.html>

⁷⁴ Pub. L. 100-456. September 29, 1988 and United States Code, Section 2286. Ответственностью Совета по безопасности оборонных ядерных установок DNFSB является рассмотрение и анализ стандартов, проведение расследований, анализ проектных и эксплуатационных данных, обзор разработки и строительства установок, подготовка рекомендаций для секретаря по энергетике и органам власти для проведения слушаний, установление требований к докладам секретарю по энергетике и назначение инспекторов на местах расположения оборонных ядерных установок МЭ.

⁷⁵ John Stang, Energy Department Ends BNFL Contract, *Tri-City Herald*, May 9, 2000. Действия по приватизации были приостановлены, когда компания BNFL представила оценку стоимости, которая выросла до 15,2 миллиарда долларов для фазы 1, вместо ожидаемой цифры в 6,9 миллиарда долларов.

⁷⁶ NUREG-1747, p. xi.

⁷⁷ NUREG-1747, p. x.

⁷⁸ NUREG-1747, p. 26.

новки⁷⁹. Документированный анализ безопасности включает подробный анализ опасностей, связанный со сценариями аварий, которые могут привести к значительным последствиям для населения и окружающей среды. В свою очередь, правила требуют включать в анализ опасностей оценки частоты непредотвращенных рисков, которые не принимают во внимание превентивные меры, которые могут ослабить последствия аварии, «отличающиеся от начальных условий и базовых физических реалий данной операции»⁸⁰. Этот подход предлагается для установления границ неопределенностей, которые обеспечивают адекватный запас безопасности.

ЯРК обнаружила, что МЭ «по-видимому, не адекватно относится к значению непредотвращенных событий». «Неявные предположения» МЭ могут привести к «менее серьезным последствиям» и «могут привести к пропуску или неотожествлению средств контроля безопасности и требований к ним, включая их надежность». ЯРК сообщила, что «имеется очевидное стремление ... неявно характеризовать опасности в предотвращаемой форме ... Поэтому не очевидно, что требования по безопасности были адекватно идентифицированы и классифицированы»⁸¹.

В этом контексте ЯРК оценила, что общий непредотвращенный риск крупных аварий, включающих крупные выбросы радиации, такие, как паровые взрывы в стеклоплавильной печи, или пожар смолы, на заводе по отверждению в Хэнфорде составляет 0,024 за год (2,4 процента за год)⁸². Это преобразуется в 50-процентную вероятность крупной аварии за 28 лет эксплуатации⁸³ (см. табл. 2).

Химикаты также представляют значительную опасность. Аварии резервуаров, содержащих азотную кислоту и безводный аммиак, могут вызвать серьезные травмы и смертельные случаи и «оставить установку необитаемой» на площади, простирающейся за пределы мили (1,6 км)⁸⁴.

Тем не менее, ЯРК обнаружила, что (за исключением стеклоплавильных печей) существуют «методы предотвращения, которые совместимы с правилами и предлагают потенциальную возможность снижения риска аварии в процессе до более допустимых уровней (около 1E-6 за год)»⁸⁵.

На паровой взрыв в плавильной печи приходится более 50 процентов непредотвращенного риска катастрофических аварий⁸⁶ и персонал ЯРК выражает опасения в том, что «по-видимому, запланировано мало испытаний для подтверждения параметров безопасности до строительства»^{87,88}. ЯРК пришла к выводу, что МЭ и его подрядчики обладают достаточным

⁷⁹ 10 CFR 830.204, "Документированный анализ пределов, в которых ядерная установка может безопасно эксплуатироваться по отношению к персоналу, населению, и окружающей среде, включая описание условий, границ безопасности, и средств контроля опасности, которые предоставляют базу для обеспечения безопасности."

⁸⁰ U.S. Department of Energy, University of California National Laboratory, Lawrence Livermore Hazard Analysis Procedure for Hazard Category 2 and 3 Nuclear Facilities Revision 1 September 2002, p. 3-2.

⁸¹ NUREG 1747, p. 169.

⁸² NUREG-1747, p. 50.

⁸³ Если предположить, что вероятность аварии составляет 0,024 за год, то вероятность отсутствия аварии за год будет равна 1,0 минус эту величину, или (1-0,024). Вероятность отсутствия аварии за два года будет равна (1-0,024) * (1-0,024), или (1-0,024)². Точно так же, вероятность отсутствия аварии к концу N лет будет равна (1-0,024)^N. При N = 28, (1-0,024)²⁸ = 0.506518. Это соответствует вероятности отсутствия аварии за 28 лет фактически в 50 процентов.

⁸⁴ NUREG-1747, p. 51.

⁸⁵ NUREG-1747, p. xi.

⁸⁶ NUREG-1747, Table 4.

⁸⁷ NUREG-1747, p. 172.

⁸⁸ NUREG-1747, p. xi. "Плавильные печи представляют несколько вопросов из-за своих размеров, вместимости, и потоков на площади поверхности, все которые делают плавильные печи для низкоактивных отходов самыми крупными среди используемых для отверждения низкоактивных отходов установок во всем мире. Однако, экспериментальная база, в особенности, в аспекте потенциальных опасений в отношении безопасности и охраны окружающей среды и здоровья, ограничена... Проекты плавильных печей также обладают несколькими

опытом и возможностями для того, чтобы понизить вероятность до $1E-4$ ⁸⁹.

Табл. 2. Оценки риска непредотвращенные аварии на Хэнфордском заводе переработки высокоактивных отходов.

Событие	Воздействие последствий на расстоянии 100 м, бэр	Категория последствий согласно части 70	Оценка частоты неконтролируемых событий за год	Категория вероятности	Риск последствий за год
Авария резервуара с отходами малой активности	3000 – 6300	Высокая	$2E-5$	Маловероятно	$3E-5 – 6E-5$
Авария резервуара с отходами высокого уровня	6000 – 12000	Высокая	$2E-5$	Маловероятно	$6E-5 – 1,2E-4$
Резервуар с цезием – потеря охлаждения и закипание (1000 галлонов, или 4 кубометра)	25000	Высокая	$1E-6$	Маловероятно	$7,25E-3$ (30% от общего непредотвращенного риска)
Авария плавильной печи или контейнера – выброс через холодную крышку	14500	Высокая	$1E-3$	Маловероятно	$7E-4$ (3% от общего непредотвращенного риска)
Вымывание цезия, взаимодействие смолы с нитратом	3400	Высокая	$1E-3$	Маловероятно	$1,7E-3$ (7% от общего непредотвращенного риска)
Воспламенение водорода над поверхностью отходов низкой активности	20000	Высокая	$1E-5$	Маловероятно	$1E-4$
Плавильная печь – паровой взрыв	26000	Высокая	$1E-3$	Маловероятно	$1,3E-2$ (54% от общего непредотвращенного риска)

Источник: NUREG 1747, Table 4.

Однако, необходим «дальнейший анализ» для того, чтобы определить, сможет ли плавильная печь достичь значений вероятности, приемлемых по правилам ЯРК для реакторов и установок топливного цикла (10 CFR 70)⁹⁰.

Базируясь на анализе девяти установок для отверждения высокоактивных радиоактивных отходов, и нескольких установок для отверждения низкоактивных и смешанных отходов во всем мире, поддержанное ЯРК исследование пришло к выводу, что «эксплуатационные пределы по химическому составу, контролю восстановления и окисления, и свойствам стекла, таким, как вязкость, электропроводность, разделение фаз, и температура плавления, должны быть установлены до начала радиоактивного процесса»⁹¹. Неспособность удовлетворить этим условиям приведет к серьезным проблемам. Например, с 1991 года в комплексе МЭ произошло восемь серьезных аварий и неисправностей, имевших отношение к плавильным печам^{92,93} (см. табл. 3).

уникальными особенностями, включая узкий промежуток между охлаждающими змеевиками и внешним стальным кожухом, и дренажными отверстиями. Если эти конструкции плавильных печей будут использоваться новыми подрядчиками, то может потребоваться дополнительная информация и исследования, чтобы подтвердить требования по обеспечению безопасности."

⁸⁹ NUREG 1747, Table 5 p. 60.

⁹⁰ NUREG 1747, p. 60.

⁹¹ Там же.

⁹² U.S. Department of Energy, Technical Evaluation of the In Situ Vitrification Melt Expulsion at the Oak Ridge National laboratory on April 21, 1996, Oak Ridge Tennessee, ORNL/ER-377.

⁹³ U.S. Department of Energy, Environmental Health and Safety Independent Investigation of the In Situ Vitrification Melt Expulsion at the Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, ORNL/ER-371, August 1996, p. 7.

В одном случае, 21 апреля 1996 года, пар под давлением быстро прорвался через расплавленное стекло на заводе отверждения низкоактивных отходов на площадке в Окридже, и вызвал взрыв, который выбросил 20 000 килограммов расплавленного стекла и разбросал горячие осколки на расстоянии 100 метров от расположения плавильной печи⁹⁴.

Большие опасения у ЯРК вызывало то, что в предлагаемых конструкциях «не рассматривается предотвращение и средства контроля и в анализ не включаются важные побочные эффекты, такие, как неисправности обычного режима, возможность эксплуатации, восстанавливаемость, и возможность присутствия операторов на заводе»⁹⁵. ЯРК пришла к выводу о том, что «регулятивные вопросы и вопросы безопасности, связанные с гораздо большей установкой, по-видимому, не рассматривались ... Во многих случаях создается впечатление, что не допускается влияние регулятивного надзора на стоимость и график ... »⁹⁶.

Однако, с тех пор, как прекратилось участие ЯРК, МЭ предприняло действия по «уменьшению консерватизма» в контроле за безопасностью высокоактивных отходов в Хэнфорде для того, чтобы «позволить быстрее выполнить работы»⁹⁷. В результате МЭ и его подрядчики значительно сократили анализ безопасности и надзор над ней, сократили процедуры безопасности при эксплуатации, и отменили утверждение МЭ важных изменений в анализах безопасности и последующих конструктивных решениях.

Теперь, однако, попытки «уменьшения консерватизма» оказались дорогостоящими и затягивающими время. В 2003 году совет по безопасности оборонных ядерных установок затронул вопрос о проектных предположениях о землетрясениях, заявив, что площадка в Хэнфорде может подвергнуться разрушительной сейсмической активности, на 15% более сильной, чем на площадках в Калифорнии⁹⁸. В марте 2005 года, после последующих испытаний, МЭ решило приостановить строительство установок, которые должны были перерабатывать основную часть отходов, и увеличить проектные стандарты от 20 до 40 процентов⁹⁹.

Предпочтение МЭ административным методам контроля перед техническими из-за их меньшей стоимости также вызывает опасения. Согласно ЯРК, подход МЭ «представляется опирающимся исключительно на действия оператора для предотвращения или ослабления химической опасности ... Нормальная принятая практика и регулятивное внимание ЯРК заключаются в минимизации опоры на административный контроль»¹⁰⁰.

Ключевыми опасениями в отношении безопасности, в которых важны технические средства контроля, являются защита от пожара и пожаротушение. На заводе по переработке отходов будут работать с большими количествами воспламеняющихся материалов. Однако, МЭ и его подрядчики сокращают расходы, уменьшая требования к защите стали от пожара и к пожаротушению. В 2000 году ЯРК возражала против такого подхода, потому что он «существенно ограничит любые будущие модификации» и «отсутствие возможностей пожаротушения вместе с отсутствием защиты стали от пожара в том же самом месте сделает административный контроль за сгораемыми материалами единственным средством защиты ...»¹⁰¹.

⁹⁴ Там же.

⁹⁵ NUREG-1747, p. 54.

⁹⁶ NUREG-1747, p. 134-135.

⁹⁷ IMAP, p. 8.4.

⁹⁸ DNFSB, Staff Issue Report, Design Basis Earthquake Ground Motion Criteria for the Hanford Site and Waste Treatment Plant, July 16, 2004.

⁹⁹ Annette Gary, Vit plant needs more quake protection, *Tri-City Herald*, February 25, 2005. P. A-I.

¹⁰⁰ NUREG-1747, p. 103.

¹⁰¹ NUREG-1747, p. 183.

Табл. 3. Сводка аварий, имеющих отношение к плавильным печам МЭ.

Авария	Действия по коррекции	Полученные уроки
<i>Саванна Ривер (DWPF)</i> . Затекание потока стекла во время разлива привело к закупорке разливного отверстия на регулярной основе (1997).	Выпускная заслонка была модифицирована для того, чтобы уменьшить затекание; кроме того, было установлено дистанционно управляемое оборудование для прочистки забившегося отверстия.	Будущие конструкции плавильных печей должны учитывать возможность затекания потоков выливаемого стекла.
<i>Уэст Вэлли (WVDP)</i> . Перестановка символа сварки в технических чертежах на соединении порога и лотка стала основной причиной протечки стекла через разливную стенку. Пропущенная сварка привела к появлению зазора между порогом и лотком.	Поскольку неисправность возникла во время «холодных» операций, был произведен ремонт, и впоследствии операции были возобновлены.	Следует внедрить строгую проверку и контроль при обзоре проекта.
<i>Уэст Вэлли (WVDP)</i> . Произошла неисправность оболочки керамического сопла из-за недостаточного допуска на тепловое расширение (1997).	Сопло было спроектировано заново.	Выбор материалов и конструкция компонентов должны быть оценены до начала радиоактивных операций.
<i>Уэст Вэлли (WVDP)</i> . Образование стеклянных нитей в выпускной секции привело к блокировке выпускного отверстия. Это стало результатом сильного потока воздуха через выпускное отверстие плавильной печи (1996).	Была установлена уменьшающая поток диафрагма для сокращения потока воздуха.	Эксплуатационные пределы потоков воздуха, давления и температуры должны быть установлены до начала процесса.

В апреле 2003 года директор по безопасности и технике отдела по управлению окружающей средой в МЭ повторил опасения в отношении принятого решения об уменьшении требований к защите от пожара на заводе по переработке отходов¹⁰². Было указано, что одно из помещений, которому была присвоена «низкая» категория возгораемости, должно было противостоять пожару, который эквивалентен «1200 кг дерева на площади обычного конторского помещения для одного человека». Более того, «строительный подрядчик предложил также использовать сгораемое покрытие для дезактивации вместо нержавеющей стали на всех поверхностях, которое существенно увеличит возгораемую нагрузку в этих помещениях»¹⁰³.

Так же, как ЯРК, анализ министерства обнаружил, что «административный контроль не является подходом, который намеренно выбирается для новых установок во время строительства, где выполнение стандартов довольно просто, и можно избежать контроля»¹⁰⁴.

Однако, в январе 2004 года отдел защиты реки согласился с подрядчиком уменьшить требования по пожарозащищенности в своем проектном подходе. Согласно персоналу совета по оборонной ядерной безопасности, «Не известно, как в анализе рассматриваются пожары, когда спринклерная система тушения не будет работать»¹⁰⁵.

Наконец, растущее число облучений и травм рабочих на резервуарах Хэнфорда, и строительные ошибки последних двух лет дают предупреждение о грядущих более серьезных потенциальных проблемах. В течение последних двух лет, несмотря на предупреждения исследователей министерства обороны о профессиональной опасности^{106,107}, несколько

¹⁰² Memorandum for Roy Schepens, Manager, Office of River Protection, From: Sandra Johnson, Director for the Office of Safety and Engineering, Subject Fire Protection for Waste Treatment Plant, April 17, 2003. (Впоследствии называется как "Memo to Schepens from Johnson.")

¹⁰³ Там же.

¹⁰⁴ Там же.

¹⁰⁵ DNFSB Staff Report, January 16, 2004.

¹⁰⁶ U.S. Department of Energy, Office of Environmental Management, FY 2002 Integrated Technology Plan for the River Protection Project DOE/ORP-2002-03, p. 5.22 (Впоследствии называется как DOE/ORP-2002-03) Незадолго до того, как возникли эти проблемы, специалист из МЭ предупредил: "Следует лучше понять выбросы токсичных газов, включая скорость выброса и механизмы контроля, чтобы разработать стратегию выполнения применимых законодательных требований в отношении безопасности и охраны окружающей среды и здоровья... В на-

рабочих попали под испарения резервуаров. Например, 12 июля 2003 года 12 рабочих вдохнули радиоактивные материалы и загрязнили свою кожу, работая в колодце неподалеку от резервуара с высокоактивными отходами. «Специалист по медицинской физике, проверив образцы загрязнения, безуспешно пытался остановить работу»¹⁰⁸, несмотря на большое количество людей, подвергавшихся риску. Около 90 рабочих обратились к медицинским работникам площадки, сообщив о заболеваниях и травмах, заявляя, что они вызваны вдыханием паров из резервуара¹⁰⁹. Это привело к расследованиям в штате Вашингтон, в Конгрессе США, и в управлении генерального инспектора МЭ^{110,111}.

Табл. 3. Сводка аварий, имеющих отношение к плавильным печам МЭ (продолжение).

Авария	Действия по коррекции	Полученные уроки
<i>Саванна Ривер.</i> На установке для отверждения смешанных низкоактивных радиоактивных отходов на М-площадке произошел отказ электрода, который привел к ускоренной коррозии и отказам молибденовых электродов. Это было отчасти приписано неисправности систем охлаждения электродов (1997).	Плавильная печь была заменена.	Коррозионное действие расплава и его совместимость с компонентами должны быть установлены до начала эксплуатации плавильной печи. Эксплуатационные характеристики плавильной печи должны непрерывно оцениваться во время эксплуатации через программы обеспечения качества и проверку безопасности.
<i>Ферналдс.</i> Отказала плавильная печь для нерадиоактивных материалов, пролив 6 000 кг стекла на пол, из-за деградации компонентов плавильной печи, вызванной несовместимостью подаваемых химикатов (1996).	Установка была закрыта.	Коррозионное действие расплава и его совместимость с компонентами должны быть установлены до начала эксплуатации плавильной печи. Эксплуатационные характеристики плавильной печи должны непрерывно оцениваться во время эксплуатации через программы обеспечения качества и проверку безопасности.
<i>Окриджская национальная лаборатория.</i> В радиоактивных отходах на заводе отверждения на площадке произошел паровой взрыв, который привел к выбросу выпускных газов и разливу 20 000 килограммов расплавленного стекла, разбросав осколки на расстояние до 100 метров от расположения плавильной печи (1996).	Рекомендуемые действия по коррекции включали отвод стоячей воды в окрестностях колодца, установку мониторов потока и искривленных вентиляционных труб под расплавом для предотвращения альтернативного пути для пара, измерение давления под расплавом, и видеомониторинг поверхности расплава.	В плавильных печах должны быть установлены защитные устройства, спроектированные не только для работы в нормальных условиях эксплуатации, но и в аномальных условиях, таких, как паровой взрыв.
<i>Хэнфорд.</i> Крупномасштабное испытание отверждения на месте в подземном резервуаре объемом 6000 галлонов (24 кубометра) привело к паровому взрыву, который оторвал 12-дюймовую (30 см) трубу для выпускных газов от земли и к выбросу расплавленной соли (1991).	Установка была закрыта.	Причина была связана с запечатыванием стенок резервуара расплавом, которая препятствовала нормальному выходу пара при диссипации из расплава.
Источники: Vijay Jain, Process Safety Issues Associated with Melter Operations During Vitrification of Radioactive Wastes, Proceedings of the XVIII International Congress on Glass, 2000, and ORNL/ER-371.		

стоящее время не ведется никаких специальных работ в связи с этим новым возникшим требованием.... Например, строительные работы, связанные с резервуаром 241-C-106 требуют доступа в яму для установки оборудования. Мощность дозы в ямах 241-C-106 равна 40 р/час. После расходов в 2 миллиона долларов и пяти месяцев работы доза для рабочих была снижена всего лишь до 20 р/час."

¹⁰⁷ DOE/ORP-2002-03, 4.15.

¹⁰⁸ DNFSB Staff Report July 11, 2003.

¹⁰⁹ Clare Gilbert and Tom Carpenter, Knowing Endangerment: Worker Exposure to Toxic vapors at the Hanford Tank Farms, Government Accountability Project, September 2003, Washington, D.C.

¹¹⁰ Matthew L. Wald and Sara Kershaw, Wider Investigation Sought at Nuclear Site, *New York Times*, February 26, 2004. P. A-16.

¹¹¹ Elaine Harden, Waste Cleanup May Have Human Price, *Washington Post*, March 6, 2004. P. A-1.

В феврале 2005 года строительные рабочие завода по переработке отходов сообщили в министерство «об обескураживающем влиянии в отношении боязни мести за сообщения во вопросам безопасности, медицины, и трудовых отношений. Около 20% опрошенных рабочих описали беспокойство, принуждение, и страх увольнения при пользовании средствами первой помощи на площадке или после посещения частного врача, и такое же количество высказали мнение о том, что когда кто-либо затрагивает проблемы безопасности, он попадает в список для будущего увольнения»¹¹².

УТИЛИЗАЦИЯ НА ПЛОЩАДКЕ

Программа ускоренной очистки МЭ приведет к прямой утилизации на площадке значительно большего количества радиоактивности из хэнфордских резервуаров с высокоактивными отходами, чем это было согласовано с персоналом ЯРК в 1997 году. Для того, чтобы сократить количество отходов, обрабатываемых на заводе по переработке отходов, содержащее десятков хэнфордских резервуаров будет обрабатываться без отделения радионуклидов, с помощью объемного отверждения, и, возможно, других «дополнительных» технологий¹¹³, для постоянного захоронения на площадке, оставляя за собой на площадке значительно большие количества радиоактивности.

Для того, чтобы достичь своих целей по сокращению количества контейнеров с высокоактивными отходами и оставить больше радиоактивности на площадке, МЭ старается переклассифицировать высокоактивные отходы как «побочные»¹¹⁴. В июле 2003 года федеральный окружной суд постановил, что МЭ не имеет полномочий переклассифицировать высокоактивные отходы¹¹⁵. В следующем году Конгресс принял закон, который позволяет МЭ самому регулировать утилизацию высокоактивных отходов, консультируясь с ЯРК. Однако, Хэнфорд был исключен из этого положения, после яростного протеста делегации штата Вашингтон в сенате. Кроме того, ил из испорченного отработанного реакторного топлива в К-бассейнах в Хэнфорде¹¹⁶ и отходы из десятков бассейнов¹¹⁷ были обозначены как «потенциальные трансурановые отходы» для утилизации в опытном проекте изоляции отходов (WIPP) МЭ в штате Нью-Мексико. Попытки утилизировать отходы из хэнфордских резервуаров высокоактивных отходов неявно поднимают вопрос: не станет ли опытный проект изоляции отходов по умолчанию вторым хранилищем для тысяч контейнеров с высокоактивными отходами, для которых, как заявляет МЭ, нет места в хранилище Юкка Маунтин?

Параллельно с проектированием и строительством установок по переработке, 40 резервуаров были назначены для опустошения и «промежуточного» закрытия в течение двух

¹¹² DNFSB Staff Report, February 4, 2005.

¹¹³ U.S. Department of Energy, Integrated Mission Acceleration Plan, CH2MHill, RPP 13678, Rev. 0, March 2003, (Впоследствии называется как IMAP). Активно рассматриваемые специальные технологии включают: **Паровой риформинг** - "Паровой риформинг преобразует отходы в высокотемпературной сжиженной подушке под небольшим вакуумом. Перегретый пар и добавки инжектируются в подушку, создавая восстановительные и окислительные зоны." Ожидается, что процесс разрушит органические вещества, нитраты и нитриты. Ожидается также, что добавки преобразуют радионуклиды, сульфаты, хлор и фтор в гранулированную форму отходов.; и **Бетонирование** – Бетонирование включает перемешивание отходов со смесями и кондиционерами, такими, как портланд-цемент, пепел и шлак для образования цементированной формы отходов. Для того, чтобы выполнить законодательные требования для утилизации низкоактивных отходов, разбавление радионуклидов может значительно увеличить утилизируемые объемы отходов. На основании оценки ожидаемых характеристик, представляется, что в качестве предпочтительной "дополнительной" технологии выбрано объемное отверждение.

¹¹⁴ US Department of Energy, Order 435.1.

¹¹⁵ *NRDC v. Abraham*, 244 F.3d 742 (9th Cir. 2003).

¹¹⁶ *The Hanford Reach*, A Publication of the U.S. Department of Energy's Richland Operations Office for all site employees, August 16, 1999, p. 7.

¹¹⁷ IMAP, pp. 4-18, 19.

ближайших лет¹¹⁸. Ожидается, что из этих резервуаров будут удалены все извлекаемые отходы, и они останутся в стабильном состоянии до окончательного закрытия¹¹⁹. После того, как отходы будут удалены, в резервуары будет залит цемент для фиксации все еще не определенное количество остаточных долгоживущих радионуклидов.

Научным обоснованием для решений по захоронению в Хэнфорде должно быть надежное понимание выхода и переноса отходов и резервуаров в окружающей среде. Несмотря на то, что большое количество отходов было сброшено, или вытекло в грунт, текущее понимание МЭ «недостаточно для полной поддержки решений, относящихся к очистке, закрытию, или оценке рабочих характеристик»¹²⁰.

Закрытие 177 больших резервуаров и многих километров подземных трубопроводов и связанной с ними инфраструктуры оставит за собой значительное количество остаточных высокоактивных отходов. Согласно поддержанному МЭ исследованию, радионуклиды от закрытия резервуаров представляют «один из наиболее существенных долговременных источников дозы на площадке ... Однако, скорость выделения радионуклидов из этой твердой фазы практически неизвестна»¹²¹.

По действующему законодательству ЯРК все еще определяет, что относится к высокоактивным отходам для геологического захоронения в Хэнфорде^{122,123,124}. Однако, ЯРК решила исполнять свои полномочия через соглашения с МЭ на уровне персонала. ЯРК до сих пор не выпустила формального определения посредством принятия решений, или других средств, относящегося к захоронению на площадке оборонных высокоактивных отходов. Этот регулятивный подход позволил МЭ предпринимать действия, такие, как захоронение остатков из резервуаров с высокоактивными отходами на площадке в Саванна-Ривер, кото-

¹¹⁸ IMAP, p. ES-2.

¹¹⁹ M. Elmore and C. Henderson, *Summary of High Level Waste Tank Lay-Up Activities Supporting the Tanks Focus Area, Fiscal Years 2001-2002*, Pacific Northwest National Laboratory, PNNL-13901, May 2002, Временное закрытие включает "приведение резервуаров, которые больше не содержат любых извлекаемых отходов, в безопасное, стабильное и требующее минимального обслуживания состояние до тех пор, пока не произойдет окончательное закрытие. Это состояние перед окончательным закрытием (называемое также временным закрытием, эксплуатационным закрытием, и т.п.) называют выводом резервуара из строя."

¹²⁰ DOE/ORP-2002-03, p. 10.18. "Следует отметить, что измерения в скважинах в группе резервуаров SX показали присутствие ¹³⁷Cs на глубине 40 метров, значительно превышающей предсказания современных моделей. Дальнейшие исследования, включающие бурение двух дополнительных скважин, подтвердили наличие мигрирующего цезия в формации. Отчет, выпущенный экспертной группой RPP Vadose Zone, заключает, что миграция цезия плохо понята, и что доступные данные недостаточны для подтверждения моделей миграции... Кроме того, график очистки площадок Vadose Zone 200 может быть задержан, если состояние мобильности распределенных на глубине загрязнений не будет известен, или будет недостаточно охарактеризован заранее. Например, если в конце концов будет определено, что потребуется извлечение загрязненного трансурановыми элементами грунта до глубины 40 метров, или более, под фундаментом завода окончательной обработки плутония, то на график очистки существенно повлияют расходы на удаление грунта которые могут достичь 1 миллиарда долларов, или более. Аналогичные требования по удалению грунта для протекших резервуаров с одинарной оболочкой (РОО) могут увеличить расходы на очистку на несколько порядков величины. Чем скорее будет разрешен этот вопрос, тем скорее могут быть сделаны более точные технические, финансовые и плановые предсказания."

¹²¹ DOE/ORP-2002-03, pp. 10.4, 10.6.

¹²² Energy Reorganization Act of 1974, P.L. 93-438, Oct. 11, 1974, 88 Stat. 1233, (U.S.C. Title 42, Sec. 5801 et seq.).

¹²³ The Nuclear Waste Policy Act, P.L. 97-425, Jan. 7, 1983, 96 Stat. 2201 (Title 42, Sec. 10101 et seq.).

¹²⁴ Nuclear Waste Policy Amendments Act of 1987, P.L. 100-203, title V, subtitle A, Sec. 5001-5065, Dec. 22, 1987, 101 Stat. 1330-227 to 1330-255. According to (NUREG-1747, p. 215.). "В рамках существующей системы, если только ЯРК не определит, что эти низкоактивные или сопутствующие отходы не являются высокоактивными отходами, отходы должны быть утилизированы в качестве высокоактивных отходов в федеральном хранилище."

рые для всех практических целей являются необратимыми. Она также позволяет МЭ, в случае Хэнфорда, игнорировать соглашения с персоналом ЯРК без юридических последствий.

Учитывая эти обстоятельства, персонал ЯРК в 1997 году условно согласился на план МЭ по удалению радионуклидов из растворимых отходов для того, чтобы позволить их утилизацию на площадке¹²⁵. Это соглашение специфически базируется на предоставленных МЭ оценкам:

1. Извлечение радионуклидов в максимальных технически и экономически практичных пределах оставляет в отходах низкой активности не более, чем 9,8 мегакури цезия-137 (включая его продукт распада барий-137m) и 6,8 мегакури стронция-90 (включая его продукт распада иттрий-90)¹²⁶.
2. Удаление трансурановых элементов, как это требуется для того, чтобы ... их концентрация в отвержденных отходах низкой активности не превышала 100 нКи на грамм.
3. Все требования по утилизации, включая те, которые определены в оценках исполнения, утвержденных приказами МЭ, должны быть выполнены¹²⁷.

Табл. 4. Утилизация радионуклидов на площадке в отходах низкой активности в Хэнфорде (в кюри).

Радионуклид	Утилизация отходов низкой активности на месте, согласованная с NRC в 1997 г. (a)	62 резервуара, намеченные для дополнительной обработки отходов (b,c)	115 резервуаров, намеченных для завода переработки отходов (b)	Ускоренная очистка 177 резервуаров (всего по площадке)
Цезий-137	9 750 000 (d)	10 900 000 (d)	2 370 000 (d,e)	13 300 000 (d)
Стронций-90	6 800 000 (d)	15 500 000 (d)	6 380 000 (d,f)	21 900 000 (d)
Трансурановые элементы (g)	10 000	46 000	18 840 (h)	64 840
Технеций-99	< 30 000	< 7 200	< 22 800	< 30 000
Углерод-14	< 5 300	< 1 300	< 4 000	< 5 300
Иод-129	< 51	< 14	< 34	< 48
Тритий	< 10 000	< 4 100	< 5 900	< 10 000
Олово-126	< 1 600	< 140	< 460	< 600
Селен-79	< 1 000	< 20	< 114	< 134
Уран	< 1 000	< 150	< 850	< 1 000
Всего	16 600 000	26 500 000	8 800 000	35 300 000

(a) WHC-SD-WM-TI-699 Rev. 2 (1996), P. 4-1. Эта оценка включает утилизацию отходов во всех 177 резервуарах Хэнфорда с одинарной и двойной оболочкой.
(b) Оценки, основанные на данных из Tank Waste Inventory Network System, September 2003.
(c) Accelerated Retrieval and Interim Closure Schedule Table 4.3, Potentially Low Curie Low-Activity Waste Tanks Table 4.6 (Эта оценка не включает отходы в резервуарах C-104, 106, 107, S-105, 106, и 112, предназначенные для направления за завод по переработке отходов, и базируется на утилизации отходов из 62 резервуаров с одинарной оболочкой.)
(d) Дочерние продукты распада Cs-137 (mBa-137) и Sr-90 (Y-90) включены.
(e) Методология WHC-SD-WM-TI-699 Rev. 2 (1996). 3 процента запасов Cs, Ba-137.
(f) Методология WHC-SD-WM-TI-699 Rev. 2 (1996). 3.78 МКи растворимого Sr, Y-90 плюс 3 процента нерастворимых запасов Sr, Y-90.
(g) Трансурановые отходы по определению.
(h) Методология WHC-SD-WM-TI-699 Rev. 2 (1996). 9 600 Ки растворимых трансурановых отходов плюс 3 процента запасов нерастворимых трансурановых отходов.

Персонал ЯРК обнаружил, что план МЭ «не достаточен для того, чтобы сделать в то время абсолютное определение»¹²⁸. Более того, если МЭ не будет использовать технологии

¹²⁵ 1997 Approval Letter.

¹²⁶ NUREG/CR-5751, p. 1-18, "Дочерние продукты распада Sr-90 и Cs-137 -Y-90 и Ba-137m соответственно – находятся в состоянии равновесия, или близком к нему (т.е. при равной радиоактивности) со своими родителями и должны быть включены в запасы."

¹²⁷ WHC-SD-WM-TI-699 Rev. 2 1996) pp. ES vi, vii.

¹²⁸ U.S. Nuclear Regulatory Commission, Letter to: Mr. Jackson Kinzer, Office of Tank Remediation System, U.S. Department of Energy, Richland Operations Office, From: Carl J. Paperiello, Director, Of-

отделения, включенные в систему улучшения отходов в резервуарах¹²⁹, и если произойдут большие увеличения данных о запасах в резервуарах, то «классификация побочных отходов должна быть пересмотрена МЭ при консультации с ЯРК»¹³⁰.

На основании действий, намеченных в сводном плане ускорения проекта переработки и утилизации высокоактивных отходов в Хэнфорде¹³¹, МЭ решило:

- стремиться утилизировать существенно большее количество радионуклидов, чем это было согласовано с персоналом ЯРК (см. табл. 4);
- продолжать утилизировать отходы со значительно большим содержанием радионуклидов, чем это было представлено персоналу ЯРК; и
- не демонстрировать выполнение оценок характеристик отходов.

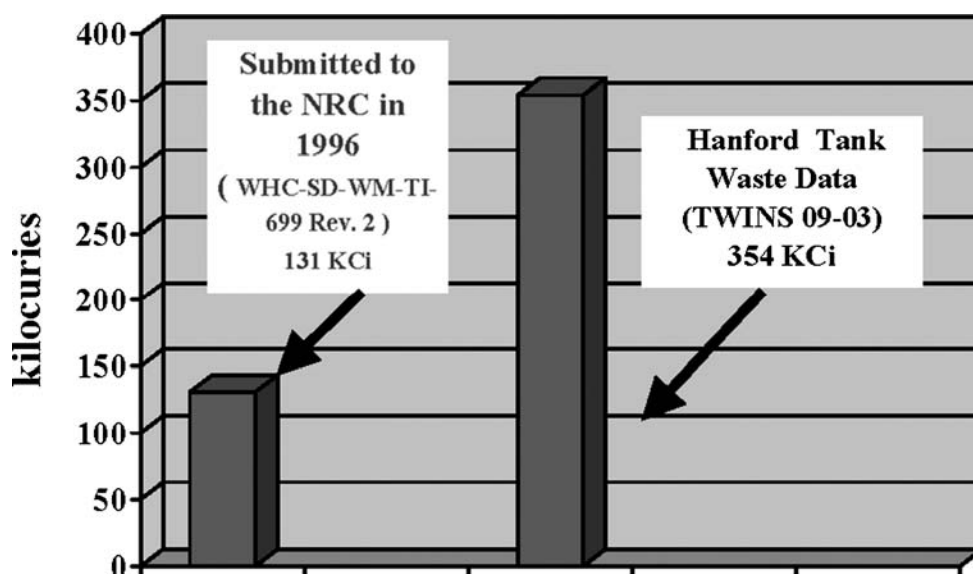


Рис. 7. Увеличение данных по трансураниевым элементам в хэнфордских резервуарах, представленных в ЯРК в 1996 году со 131 000 Ки (HC-SD-WM-TI-699 Rev. 2) до 354 000 Ки в 2003 году в данных об отходах в хэнфордских резервуарах (TWINS 09-03). Надписи на рисунке (слева направо): 1 – килокури; 2 - представлено в ЯРК в 1996 году (HC-SD-WM-TI-699 Rev. 2) 131 кКи; 3 - данные об отходах в хэнфордских резервуарах (TWINS 09-03) 354 кКи.

МЭ отождествило отходы в 62 резервуарах, которые должны быть извлечены и зафиксированы с использованием «дополнительных» технологий без дополнительного извлечения радионуклидов¹³². Отходы из этих резервуаров вместе с дезактивированными отходами низкой активности, поступающими с завода по переработке, приведут к увеличению утилизации на площадке в более, чем в три раза по стронцию-90, и более, чем в шесть раз по трансураниевым элементам по сравнению с тем, что было согласовано с персоналом ЯРК.

Данные по запасам отходов, в особенности по трансураниевым элементам, увеличились после того, как министерство подписало в 1997 году соглашение с ЯРК. Рис. 7 показывает, что оценки запасов трансураниевых отходов возросли почти в три раза.

Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, June 9, 1997. (Впоследствии называется как 1997 Approval Letter.)

¹²⁹ WHC-SD-WM-TI-699.

¹³⁰ Там же.

¹³¹ IMAP.

¹³² IMAP. Отходы из резервуаров, предназначенные для утилизации на площадке с использованием "дополнительных технологий" перечислены в IMAP (Accelerated Retrieval and Interim Closure Schedule Table 4.3, and Potentially Low Curie Low-Activity Waste Tanks Table 4.6). Эти оценки не включают отходы в резервуарах C-104, 106, 107, S-105, 106, и 112, предназначенные к отправке на завод переработки отходов, и отходы в резервуарах, обозначенные как потенциальные трансураниевые отходы, и, следовательно, базируются на утилизации отходов в 62 резервуарах с одинарной оболочкой (РОО).

В отношении выполнения условий соглашения 1997 года по выполнению оценки характеристик отходов наибольшие опасения вызывает воздействие йода-129 на грунтовые воды. МЭ было информировано в сентябре 2003 года CH2MHILL, подрядчиком Хэнфорда по резервуарам с высокоактивными отходами, что «йод вызывает основное беспокойство в оценке риска, и что количество йода в отходах резервуаров и во вторичных отходах неопределенно»¹³³. Йод-129 вызывает опасения из-за его большого времени жизни и из-за его потенциального вреда для щитовидной железы человека. МЭ оценило, что основной вклад в дозу будут вносить пять кюри йода-129 от утилизации отходов вторичной обработки¹³⁴. В январе 2004 года МЭ представило первую оценку характеристик для утилизации низкоактивных отходов на площадке, в которой оно указывает, что утилизация отходов из хэнфордских резервуаров на площадке удовлетворяет ожидаемым требованиям¹³⁵.

Однако, это количество приведет к концентрации йода-129 в питьевой воде, которое в 22 раза превышает предельно допустимую концентрацию агентства по охране окружающей среды, если использовать соответствующую методику¹³⁶. Вместо этого МЭ основывает свои оценки на дозе для всего тела (предельно допустима концентрация в 1 пКи/л = 0,18 мБэр/год)¹³⁷. Делая так, МЭ игнорирует универсально принятый принцип того, что захваченный радиойод почти исключительно концентрируется в щитовидной железе, а не во всем теле. Более того, методология оценки дозы МЭ игнорирует стандарты агентства по охране окружающей среды и собственные приказы МЭ.

СОКРАЩЕНИЕ РИСКОВ БЕЗОПАСНОСТИ

Риск переработки высокоактивных отходов в Хэнфорде, по предварительным оценкам национального исследовательского совета, сравним с риском программы пилотируемых космических полетов в США¹³⁸. В крупнейшем уникальном процессе работы с исключитель-

¹³³ Там же.

¹³⁴ DOE/EIS-0286F, Table L.I.

¹³⁵ U.S. Department of Energy, "Final Hanford Site Solid (Radioactive and Hazardous) Waste Program Environmental Impact Statement Richland, Washington" (HSWEIS), (Впоследствии называется как DOE/EIS - 0286F), January 2004, Table 5.15, p. 5.291, Примечание: В таблице 5.15 документа HSWEIS представлена доля максимальных уровней загрязнения для Тс-99 и I-129 для нескольких площадок утилизации низкоактивных отходов в Хэнфорде. Доля максимальных уровней загрязнения I-129 (1.0 пКи I-129/литр) лежит в пределах от 0.3 до 1.3. Предпочтительное расположение вблизи завода PUREX имеет долю максимальных уровней загрязнения 0.3. Сумма долей максимальных уровней загрязнения для Тс-99 and I-129 для различных площадок Хэнфорда составляет от 0.6 до 2.4. В документе HSWEIS (Table L.I.) также отождествляются отходы с завода переработки отходов (WTP) для утилизации в Хэнфорде, как содержащие 22 Ки I-129 в стекле низкой активности и 5 Ки I-129 в цементированных низкоактивных отходах (отходы с установки переработки жидких отходов LETF). Предполагается, что остаток запасов I-129 в извлеченных из резервуаров отходах отвержден в стекле высокой активности.

¹³⁶ Документ 10 CFR Part 141.16 заявляет в разделе Sec. 141.16: Максимальные уровни загрязнения для бета- и гамма-радиоактивности в системах коммунального водоснабжения от радионуклидов искусственного происхождения (а) Среднегодовая концентрация бета- и гамма-радиоактивности от радионуклидов искусственного происхождения в питьевой воде не должна производить эквивалентной годовой дозы для всего тела или любого внутреннего органа, превышающей 4 миллибэр в год. (b) За исключением радионуклидов, перечисленных в табл. А, концентрация искусственных радионуклидов, вызывающих эквивалентную дозу для всего тела или органа в 4 миллибэр, должна рассчитываться на основе потребления 2 литров питьевой воды в сутки.

¹³⁷ DOE/EIS - 0286F, p. 5.291.

¹³⁸ John Rennie, Editor's Commentary: The Cold Odds against Columbia, Scientific American.Com, p. 1. "Если предположить, что оценка риска НАСА в 0,7 процента за полет правильна, то после 113 полетов вероятность того, что один из шаттлов будет разрушен, достигнет примерно 55 процентов." <http://www.sciam.com/article.cfm?articleID=OOOE76D3-F389-IE43-89E0809EC588EEDF>, July 20, 2004.

но опасными материалами риски безопасности осложняются недостаточными данными характеристики отходов и отсутствием опыта переработки реальных отходов. Учитывая эти пробелы в знаниях, предположения о риске и проектные и строительные решения должны содержать сильные элементы консерватизма для того, чтобы ограничить большие неопределенности. Консервативные параметры могут переоценить риск, но они приведут к большому запасу безопасности и к большей уверенности общественности.

Учитывая большую степень риска, Конгресс должен дать полномочия ЯРК лицензировать строительство и эксплуатацию хэнфордского завода по отверждению, и сертифицировать безопасность хранящихся высокоактивных отходов. ЯРК работала в Жэнфорде три с половиной года, и может эффективно осуществить переход к внешнему регулированию, которое может предоставить согласованный и всеобъемлющий подход к хранению и переработке отходов в резервуарах¹³⁹. Законодательство, разрешающее регулирование ЯРК, должно четко определять роли и ответственности, такие, как:

- МЭ сохраняет владение всеми высокоактивными отходами;
- регулирование завода по отверждению ЯРК должно подпадать под действие документа 10 CFR Part 70, управляющее установками ядерного топливного цикла;
- подрядчик должен получить лицензию, и МЭ не должно стать субъектом прямой оценки оплаты ЯРК; и
- сертификация резервуаров для хранения высокоактивных отходов должна лицензироваться в соответствии с документом 10 CFR Part 70, поскольку они являются существующими установками, которые были сертифицированы, а не лицензированы.

ЯРК оценила, что для проведения работы потребуется 32 специалиста, работающих на полной ставке, что соответствует расходам в 8 миллионов долларов в год. Эти расходы требуются возратить за счет сборов, накладываемых на получателя лицензии. Поскольку ЯРК уже разработала регулирование и руководящие указания, ежегодные расходы на переход к регулированию могут быть меньшими. Кроме того, общие расходы на регулирование ЯРК составляют малую часть от общей стоимости программы – менее половины процента.

СОКРАЩЕНИЕ РИСКОВ УТИЛИЗАЦИИ НА ПЛОЩАДКЕ

Усилия МЭ по утилизации существенно больших количеств радионуклидов на площадке базируются на обещании установления «основанных на риске конечных состояний». Моделирование природного ослабления радионуклидов на протяжении сотен или тысяч лет является ограниченным подходом, который не учитывает:

- существенного сокращения контролируемых площадей на Хэнфордской площадке в течение восьми лет;
- сценариев аварий, включающих переработку высокоактивных отходов;
- существующей большой уязвимости американских индейцев к загрязнению окружающей среды; и
- интеграцию рисков природных ресурсов с рисками здоровья человека.

В последующие годы МЭ планирует снять радиологический контроль на больших участках хэнфордской площадки для передачи в службу рыбы и дикой природы министерства внутренних дел США. Передача предназначена для сокращения расходов МЭ и для расширения национального памятника Хэнфорд Рич¹⁴⁰. Более 87 процентов земли, занимаемой в

¹³⁹ NUREG-1747, р. 16. В течение периода участия ЯРК в штат агентства входило 15 экспертов со средним стажем работы в 20 лет в своих соответствующих областях, а финансируемые на федеральном уровне исследовательские возможности комиссии были направлены исключительно на программу обращения с высокоактивными отходами в Хэнфорде.

¹⁴⁰ Монумент был основан в 2000 г. Президентом Соединенных Штатов и он включает последний свободно протекающий участок реки Колумбия длиной в 82 км, который протекает через Хэнфорд. Уникальное сохранившееся окружение Хэнфорда со степным кустарником поддерживает многочисленные виды млекопитающих, рептилий и земноводных, включая не-

настоящее время МЭ, будет передана министерству внутренних дел, и в 2012 году эти земли будут открыты для публичного доступа¹⁴¹. Даже при том, что в потенциальных авариях при отверждении «проявится существенное влияние расстояния»¹⁴², МЭ предполагает, что существующий периметр безопасности Хэнфорда от 6,8 до 9,3 миль (от 11 до 15 километров) в течение неограниченного времени будет служить в качестве границы для облучения населения¹⁴³. Для обеспечения большей защиты следует принять руководящее указание национального исследовательского совета, которое устанавливает дозу для населения, включая работников на площадке, на «линии забора» в 100 метров¹⁴⁴.

Необходимость консерватизма в подходе к охране здоровья населения подчеркивается недавними сведениями, показывающими, что индейские племена, проживающие вблизи Хэнфорда, весьма уязвимы к действию загрязнений окружающей среды. Агентство по защите окружающей среды сообщило в 2002 году, что рыба на участке Хэнфорд Рич загрязнена сильнее, чем где-либо в бассейне реки Колумбия, и что индейские племена, поедающие рыбу из Хэнфорд Рич, подвержены риску смертных случаев от рака 1 к 50 на протяжении всей жизни¹⁴⁵.

Из-за того, что племенной стиль жизни сильно зависит от лова рыбы для пропитания, защита природных ресурсов и здоровья человека становятся тесно связанными. МЭ до сих пор не учитывает этой связи. Например, примерно в то же время, когда агентство по охране окружающей среды выпустило свое исследование по заражению рыбы, МЭ установило стандарт предельной дозы облучения для рыбы в Хэнфорд Рич, которое не должно превышать 1 рад/день¹⁴⁶. Если взрослый человек из индейского племени будет есть рыбу, экспонированную таким образом технецием-99, ежегодная доза для человека может составить 8,3 бэр/год¹⁴⁷.

Несмотря на то, что МЭ стремится передать большие участки земли хэнфордской площадки министерству внутренних дел, не было проведено никаких требуемых законодательством оценка риска для здоровья и окружающей среды.

Учитывая эти обстоятельства, условное утверждение национальным исследовательским советом в 1997 году утилизации на площадке 16,6 мегакюри радионуклидов, остающихся в растворимых отходах резервуаров, должно быть пересмотрено с целью существенного сокращения нагрузки радиологического загрязнения. С этой целью национальный исследовательский совет должен провести активные консультации с агентством по охране окружающей среды, штатами Вашингтон и Орегон, и затронутыми индейскими племенами для установления всеобъемлющих формальных пределов закрытия резервуаров, переработки и

которые виды, признанные как охраняемые федеральным правительством и правительством штата. Рич является также последним местом обитания примерно 80 процентов дикого лосося чинук в северо-западном тихоокеанском регионе, и сохраняет пищевые и культурные ресурсы и важные археологические площадки, жизненно важные для тысяч американских индейцев

¹⁴¹ U.S. Department of Energy, Hanford Performance Management Plan Rev. D - August 2002, Table 1, p. iv. <http://www.hanford.gov/docs/rl-2002-47/rl-2002-47.pdf>, July 20, 2004.

¹⁴² NUREG-1747, p. 62.

¹⁴³ Там же.

¹⁴⁴ 10 CFR 20.

¹⁴⁵ U.S. Environmental Protection Agency, Region 10, Columbia River Basin Fish Contaminant Survey, 1996-1998, EPA 910-R-02-006. Впервые было выполнено научное исследование потребления рыбы, которое показало, что ежедневное потребление рыбы составляет 389 граммов в день. После этого на 24 исследовательских площадках в бассейне реки Колумбия был собран 281 образец рыбы и икры, которые традиционно ловят племена индейцев. Был проведен анализ рыбы и икры на наличие 132 химических соединений, из которых 92 было обнаружено. Затем агентство по охране окружающей среды EPA использовало модели оценки риска и индексы опасности для интерпретации риска измеренных загрязнений.

¹⁴⁶ U.S. Department of Energy, Technical Standard, A Graded Approach for Evaluating Radiation Doses to Aquatic and Terrestrial Biota, DOE-STD-1153-2002.

¹⁴⁷ Доза для рыбы: 1 рад/сутки. Соответствующая активность в рыбе: $\sim 2 \times 10E+6$ Бк/кг, Потребление 389 граммов рыбы в сутки с активностью $2 \times 10E+6$ Бк/кг в течение одного года приведет к эффективной дозе 0.0828 Св или 8.28 бэр.

утилизации высокоактивных отходов. Всеобъемлющая оценка риска здоровья и окружающей среды для реки Колумбия должна быть проведена в соответствии с законодательством.

Наконец, ЯРК должна получить финансирование от Конгресса для выполнения формального определения принятия решений, позволяющих утилизацию на площадке тех высокоактивных отходов, которые рассматриваются как «побочные».

С учетом стремления МЭ поскорее завершить свою миссию по защите окружающей среды, Конгресс, федеральные власти и власти штатов, и МЭ должны обеспечить, чтобы МЭ не последовало совету, что «иногда предпочтительным способом действий с точки зрения защиты окружающей среды является сделать немного, или совсем ничего»¹⁴⁸.

СОКРАЩЕНИЕ РИСКОВ ПРОЕКТА

, МЭ должно оставить свой подход «быстрого продвижения» и последовать совету многих экспертов построить опытную установку и поработать с ней. Это было сделано в демонстрационном проекте отверждения МЭ в Уэст Вэлли, штат Нью-Йорк, и это позволило создать необходимую экспериментальную базу для подготовки загрузки, предварительной обработки и технологии плавильных печей. Этого не было сделано на площадке Саванна-Ривер для предварительной обработки высокоактивных растворимых отходов, что привело к 20-летней задержке стоимостью в 500 миллионов долларов и оцениваемым затратам в 1,8 миллиарда долларов за замену технологии. Из-за величины влияния на безопасность окружающей среды и включенных финансовых рисков переработка высокоактивных отходов в Хэнфорде имеет национальное значение, и она должна обладать соответствующим уровнем внимания к управлению проектом со стороны МЭ.

МЭ имеет свою историю неудачных проектов, перерасходов и задержек¹⁴⁹, которая заставила Конгресс в 1998 году искать помощи национального исследовательского совета. Впоследствии Совет выпустил несколько докладов^{150,151}, в которых было обнаружено, что:

- Проекты по охране окружающей среды страдают от больших задержек и примерно на 50 процентов дороже сравнимых проектов в федеральном и частном секторах.
- Перспективное планирование проекта неадекватно.
- Не имеется согласованной системы оценки рисков проекта.
- МЭ не контролирует многие из своих проектов, и практически отказалось от своей роли собственника в наблюдении управлении за контрактами и подрядчиками.

В течение более десяти лет программа очистки окружающей среды программа очистки окружающей среды рассматривалась генеральным счетным управлением США как программа «высокого риска», уязвимая к мошенничеству, растратам и злоупотреблениям. Генеральное счетное управление описывало культуру управления в МЭ как путь «минимального вмешательства», основанный на «недокументированной политике слепой веры в своих

¹⁴⁸ Robert H. Nelson, *From Waste to Wilderness: Maintaining Biodiversity on Nuclear Bomb-Building Sites*, Competitive Enterprise Institute, Washington D.C. (2001) pp. 17.

¹⁴⁹ U.S. General Accounting Office, Department of Energy: Opportunities to Improve Management of Major System Acquisitions. Report to the Chairman, Committee on Governmental Affairs, U.S. Senate GAO/RCED-97-17, (1996), Washington, D.C. (В период от 1980 до 1996 г. правительственное счетное управление GAO сообщило, что 31 из 80 проектов МЭ по приобретению крупных систем было прекращено до завершения, 34 были продолжены, несмотря на перерасход бюджета, и 15 были завершены.)

¹⁵⁰ National Research Council, Committee to Assess the Policies and Practices of the Department of Energy to Design, Manage, and Procure Environmental Restoration, Waste Management, and Other Construction Projects, *Improving Project Management in the Department of Energy*, National Academies Press, Washington D.C (1999).

¹⁵¹ National Research Council, Committee for Oversight and Assessment of U.S. Department of Energy Project Management, *Progress in Improving Project Management at the Department of Energy, 2001 Assessment*, National Academies Press, Washington D.C., (2003), p. 4 (Впоследствии называется как NAS-DOE Project Management 2001).

подрядчиков»¹⁵². Национальный исследовательский совет также настаивал на большей роли МЭ:

... в качестве гаранта общественных фондов, МЭ не должно передоверять подрядчикам определение проекта, решения по стратегии приобретений, и надзор над проектом. Для эффективного выполнения своих обязанностей по управлению проектом МЭ необходимо расширить свои вложения в человеческий капитал для создания корпуса квалифицированных менеджеров проекта, соизмеримого с размерами и сложностью проекта¹⁵³.

В проекте по охране окружающей среды, непревзойденном по своему значению, риску, и расходам, ответственность по управлению и надзору для успеха проекта не должна передоверяться подрядчикам. МЭ должно отказаться от своей роли администратора фондов времен холодной войны.

МЭ должно начать с организации постоянно работающей многоотраслевой группы управления проектом хэнфордских высокоактивных отходов, докладывающей помощнику министра по управлению окружающей средой. Этот подход хорошо известен в отделе науки МЭ и предлагается национальной академией наук как проверенный способ для обеспечения успеха больших сложных проектов.

В то же самое время когорта талантов в МЭ и частном секторе для проведения сложных работ по ядерной очистке в МЭ сокращается, что сокращает конкуренцию и может отрицательно повлиять на успешный исход проектов высокого риска стоимостью в многие миллиарды долларов.

Для того, чтобы справиться с этими структурными проблемами, МЭ должно серьезно рассмотреть организацию специальной программы для обучения и подготовки студентов в необходимых областях, для того, чтобы предотвратить дальнейшую эрозию ключевых навыков и знаний, которые быстро пропадают в комплексе МЭ. Модель, которую следует рассмотреть в МЭ, была установлена в управлении морских реакторов, который набирал квалифицированных студентов колледжей, и оплачивал их обучение в обмен на государственную службу. Область действия этой рекомендации далеко выходит за пределы этой статьи, но она, тем не менее, заслуживает серьезного внимания со стороны МЭ и Конгресса.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Технологические вопросы

Основной используемый в Хэнфорде процесс расплава кварца и добавления к нему материалов для производства стекла известен на протяжении примерно 2000 лет. В Хэнфорде используются печи джоулевского типа с керамической облицовкой для производства боросиликатного стекла, которые нагреваются до температуры в 1150 °C при прохождении электрического тока от электродов через стекло¹⁵⁴ (см. рис. 8).

¹⁵² U.S. General Accounting Office, Report to Chairman, Subcommittee on Energy and Power Committee on Commerce, House of Representatives, Department of Energy: Contract Reform Is Progressing, but Full Implementation Will Take Years, GAO/RCED-97-18, December 1996, p. 2.

¹⁵³ National Research Council, Committee for Oversight and Assessment of U.S. Department of Energy Project Management. *Progress in Improving Project Management at the Department of Energy, 2002 Assessment*, National Academies Press, Washington D.C., (2003), p. 3.

¹⁵⁴ В процессе плавления частицы соды и известняка, обычно присутствующие в мягком стекле, заменяются оксидом бора. Из-за того, что частицы оксида бора очень малы, они более тесно связывают силикатные частицы с оксидами алюминия и натрия в гораздо более прочное стекло.

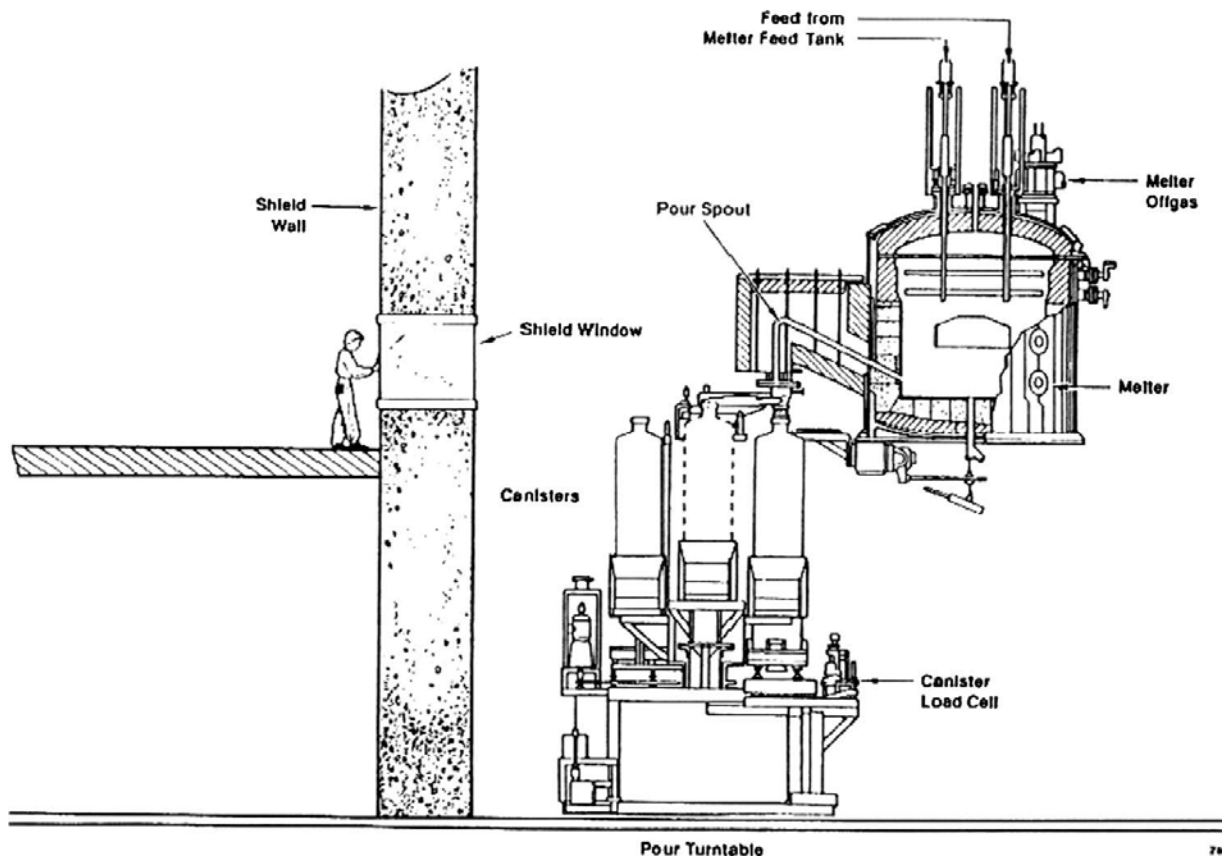


Рис. 8. Плавильная печь с поворотным столом хэнфордского завода отверждения отходов. Надписи на рисунке (сверху вниз): 1 – подача из загрузочного резервуара плавильной печи; 2 – выходящие газы плавильной печи; 3 - разливная труба; 4 - защитная стена; 5 – защитное окно; 6 – плавильная печь; 7 – контейнеры; 8 – камера загрузки контейнеров; 9 – разливочный поворотный стол. Источник: DOE/RL-900009.

Во всем мире имеются пять заводов для отверждения высокоактивных отходов и два завода для отверждения низкоактивных и смешанных отходов, в которых используются плавильные печи с джоулевым нагревом¹⁵⁵. Хотя эту технологию с двадцатилетним опытом можно назвать развитой, производительность таких плавильных печей невысока¹⁵⁶. При среднем сроке службы в 3-5 лет на нескольких печах возникали серьезные проблемы, «такие, как разрушение камеры плавильной печи, позволяющее стеклу течь или проливаться из печи, отказ нагревательной системы, и закупорка стока стекла»¹⁵⁷.

На Хэнфордском заводе по отверждению будут установлены самые крупные плавильные печи в мире – две для высокоактивных отходов и другие для низкоактивных отходов. Поначалу программа улучшения отходов из резервуаров должна была начаться с относительно небольшого опытного завода, на котором было бы переработано от 6 до 13 процен-

¹⁵⁵ U.S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Material Safety and Safeguards, Survey of Waste Solidification Process Technologies, Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses, NUREG/CR-6666, (2001), p. 7. (Впоследствии называется как NUREG//CR-6666). Операции с высокоактивными отходами проводились на установке Памела в Моле, Бельгия, на демонстрационном проекте Уэст Вели в штате Нью-Йорк в США, установке для переработки оборонных отходов на площадке Саванна-Ривер в штате Южная Каролина, на заводе отверждения Токаи в Японии, и на установке комбината «Маяк» в России. Установки в Бельгии и на комбинате Маяк были закрыты соответственно в 1991 и 1997 г.г. Операции с низкоактивными и смешанными отходами проводились на заводе отверждения на М-площадке в Саванна-Ривер и на системе отверждения отходов в Ферналде, штат Огайо. Завод в Ферналде был закрыт из-за технологической аварии в 1996 г.

¹⁵⁶ NUREG/CR-6666, p. 127.

¹⁵⁷ NUREG/CR-6666, p. 136.

тов отходов из резервуаров. Это позволило бы подтвердить проектные решения и технические подходы с минимальным экономическим и программным риском, и риском безопасности.

Например, согласно поддержанному национальным исследовательским советом исследованию использование заменителей отходов, как это делается в текущих испытаниях плавильных печей в Хэнфорде, может оказаться неадекватным из-за того, что «реальные отходы в Хэнфорде могут оказаться более реакционноспособными»¹⁵⁸. Но опытный завод разобрали, несмотря на рекомендации национальной академии наук, национального исследовательского совета, генерального счетного управления и строительного подрядчика МЭ¹⁵⁹. Вместо этого МЭ решило проектировать и строить полномасштабный промышленный завод на основе концепции «учись, делая»¹⁶⁰.

Как отмечалось в 2001 году в поддержанном МЭ анализе плавильных печей для отверждения ядерных отходов: «Строительные расходы, хотя они и важны, не являются главными составляющими стоимости проекта ... Экономия расходов при работе с высокоактивными отходами за счет увеличения загрузки отходов или производительности не может быть достигнута без соответствующего увеличения производительности (или строительства дополнительных установок для) извлечения, предварительной обработки и отверждения низкоактивных отходов»¹⁶¹. Подход МЭ уже столкнулся с «потенциально большими перерасходами и задержками, и ухудшением характеристик», предсказанными два года назад национальным исследовательским советом¹⁶². Например, в феврале 2004 года было обнаружено, что уже установленный резервуар для обработки отходов не удовлетворяет требованиям проверки безопасности, после того, как семь аналогичных резервуаров с такими же дефектами были изготовлены почти на 94 процента. Было также обнаружено, что десятки швов в других резервуарах для обработки отходов «были тоньше, или короче, или имели неадекватные контуры». По-видимому, подрядчик и изготовитель не проверили, соответствие изготовления резервуара проектным чертежам¹⁶³. В результате подобных проблем оценка строительных расходов на завод переработки выросла более, чем на 25 процентов, с 4,35 до 5,78 миллиарда долларов¹⁶⁴.

При отсутствии опытных операций с использованием реальных хэнфордских отходов, МЭ сталкивается с несколькими крупными проблемами:

Предварительная обработка. Она включает отделение радионуклидов от растворимых отходов и химическую промывку нерастворимого ила в резервуарах перед изготовлением загрузки для плавильной печи. Согласно МЭ, предварительная обработка «представляет существенную часть расходов и технического риска управления высокоактивными отходами»¹⁶⁵. В Хэнфорде процессы удаления коррозионных металлов, таких, как хром, из ила в резервуарах «не эффективны»^{166,167}. Невозможность удаления сульфатов отрицательно влияет на производство стекла с низкоактивными отходами, что вызывает серьезные опасения. Кроме того, МЭ не смогло продемонстрировать, что крупномасштабная дезактивация растворимых отходов сможет работать – как это можно было видеть в 20-летней неудаче установки предварительной обработки в Саванна Ривер, которая стоила, по оценкам, 2,3 милли-

¹⁵⁸ NUREG/CR-5751, P. 8-4.

¹⁵⁹ GAO-03-593, pp. 33-35.

¹⁶⁰ IMAP, p. 4-17.

¹⁶¹ Ahearne et al., p. 6.

¹⁶² Там же.

¹⁶³ DNFSB Staff Report February 20, 2004.

¹⁶⁴ Annette Gary, Officials to Review Vit Plant Costs, *Tri-City Herald*, January 29, 2004. P. B-1.

¹⁶⁵ DOE/ORP-2002-03, P. 5.20.

¹⁶⁶ DOE/ORP-2002-03, P. 8.31.

¹⁶⁷ John Ahearne et al., "High-Level Waste Melter Review Report, U.S. Department of Energy, Office of Environmental Management, Tanks Focus Area Report, July 2001, p. 4. "... данные, поддерживающие текущее значение фактора, равное 0,77, и растворимость стекла в 1,0 процента, использованные исследовательской группой, не являются строго обоснованными." (Впоследствии называется как "Ahearne et al.")

арда долларов потерь и будущих расходов¹⁶⁸.

Подготовка загрузки и плавильные печи. Подготовка химически сбалансированной и однородной загрузки имеет важное значение, поскольку «плавильная печь не прощает ошибок в загрузке»¹⁶⁹. Эта задача затруднена, поскольку знание характеристик отходов в Хэнфорде, согласно национальному исследовательскому совету «имеет малую ценность для проектирования химической обработки»¹⁷⁰. Неспособность подготовить правильную загрузку может вызвать: (а) короткое замыкание электродов плавильной печи из-за фазового отделения хрома, рутения, родия и палладия от расплавленного стекла¹⁷¹; (б) коррозию облицовки печи и закупорку потока стеклянного расплава в контейнеры; (в) нарушение целостности стекла от хрома, окиси фосфора, и сульфата натрия¹⁷²; и (г) большие аварийные выбросы¹⁷³. Высокие поля радиации, которые требуют дистанционного ремонта и частой замены печей¹⁷⁴, усугубляют эти проблемы.

Система выпуска газов. Фактически плавильная печь служит как для производства стекла, так и как топка, выбрасывающая большие количества зараженной двуокиси углерода, окислов азота, и радиоактивных и нерадиоактивных частиц. Система выпуска газов должна захватывать и обрабатывать эти материалы, чтобы не допустить выброса опасных веществ в окружающую среду. Закачивание избыточной или химически несовместимой загрузки в плавильную печь может вызвать большие скачки давления, которые могут привести к отказу системы и потенциально большим аварийным выбросам¹⁷⁵.

Управление процессом. Завод по переработке отходов будет использовать сложный набор технических, административных и операционных средств управления, включающий компьютерную систему, которая будет контролировать все аспекты операций на установке и процесса. Понимание потенциальной радиологической, пожарной, химической и взрывной опасности и усилия для предотвращения этих опасностей требуют точной характеристики

¹⁶⁸ United States General Accounting Office, Report to the Ranking Minority Member, Committee on Commerce, House of Representatives, Nuclear Waste: Process to Remove Radioactive Waste From Savannah River Tanks Fails to Work GAO/RCED-99-69, April 30, 1999.

¹⁶⁹ M. D. Boersma and J. L. Mahoney, Glass Making Technology for High-level Waste, E. I. du Pont de Nemours and Company, Savannah River Plant, Aiken, South Carolina, August 1986.

¹⁷⁰ U.S. National Academy of Sciences, Board on Radioactive Waste Management, *Technologies for Separations and Transmutation*, Academy Press, Washington D.C. (1996), p. 89.

¹⁷¹ NUREG-1747, p. 16.

¹⁷² Dhanpat Rai, Pacific Northwest National Laboratory Linfeng Rao, Lawrence Berkeley National Laboratory, Sue B. Clark, Washington State University, Nancy J. Hess, Pacific Northwest National Laboratory, Speciation, Dissolution, and Redox Reactions of Chromium Relevant to Pretreatment and Separation of High-Level Tank Wastes Project ID: 65368, U.S. D.O.E. Environmental Management Science Program, 2000.

¹⁷³ NUREG-1747, p. 207. На основании мирового опыта ЯРК оценивает, что частота отказов из-за коррозии в области плавления может достигать 0,012 за год.

¹⁷⁴ U.S. Department of Energy, Office of River Protection, Site Need Statement, RL-WT080, October 18, 2001.

¹⁷⁵ T. Bond Galloway, Jr., Chris T. Randall, and Victor R. Buch, Characterization of Off Gas Flow Surges in the DWPF Melter (U), Westinghouse Savannah River Company Savannah River Technology Center Aiken, SC 29808 Presentation to American Institute of Chemical Engineers Spring 1999 Conference, Houston TX, March 15-19, 1999 "Большие выбросы могут вызвать приостановку подачи плавильной печи, переключение на резервную газовую систему, и непреднамеренные проливы стекла. Очень большие выбросы (более 50 мм водного столба) высвобождаются в плавильную камеру через герметизирующую камеру, распространяя загрязнение на оборудование плавильной камеры. Поскольку плавильная камера является защищенной и дистанционно управляемой частью завода, распространение загрязнения нежелательно в перспективе обслуживания. Давление в плавильной печи управляется при помощи стандартного алгоритма PID с некоторыми дополнительными особенностями, которые введены для быстрого возвращения давления в плавильной печи к нормальной эксплуатационной установленной точке algorithm with some additional features that are designed to rapidly bring the melter pressure back to a normal operating set point (- 127 мм водного столба), когда система выходит за пределы нормального диапазона эксплуатации от -50 до -254 мм водного столба."

химического состава и концентрации радионуклидов на каждой стадии процесса на Хэнфордском заводе по переработке отходов¹⁷⁶. Например, знание распределение размера частиц и плотности частиц в отходах, важное для проектирования систем переноса отходов, таких, как трубопроводы и насосы, для предотвращения засорения, накопления горючих газов, отказов оборудования и аварий, остается в Хэнфорде недостаточным^{177,178}. Взрывы водорода на ядерных установках не являются абстрактным вопросом, поскольку наблюдалось два взрыва водорода в трубопроводах первичных систем кипящей воды и 25 пожаров водорода на реакторных установках и в насосах реакторов¹⁷⁹.

Вторичные отходы. На заводе по переработке отходов будут производиться значительные объемы и концентрации отходов от промывки ила, ионного обмена, и других процессов¹⁸⁰. В сентябре 2003 года подрядчик МЭ сообщил, что анализ «показывает существенное воздействие от вторичных отходов и тепловых процессов»¹⁸¹.

Неисправные печи и другое оборудование вызывают особое опасение, поскольку в них могут содержаться большие не извлекаемые концентрации высокоактивных отходов^{182,183}. МЭ планирует утилизировать неисправные печи в траншее на площадке¹⁸⁴, хотя в Хэнфорде «в настоящее время не имеется возможности ... утилизировать отказавшее сильно загрязненное обрабатываемое оборудование»¹⁸⁵. Исследователи МЭ предупреждают, что «неприемлемо размещать эту форму отходов в относительно неконтролируемом долговременном хранилище и продолжать добавлять такое же и другое оборудование»¹⁸⁶.

Объемное отверждение. Этот процесс является дополнительной технологией обработ-

¹⁷⁶ U.S. Nuclear Regulatory Commission, Programmatic review of paper entitled "PRETREAT: Graphical User Interface-Based Spreadsheet Model for Hanford Tank Waste Pretreatment Processes," Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses, February 4, 2000. Учитывая каждый элемент предварительной обработки только на заводе переработки отходов WTP, программа включает использование сложной компьютерной модели, способной обработать большой объем данных, включающий по меньшей мере 20 различных рабочих листов.

¹⁷⁷ DOE/ORP-2002-03, p. 6.14 Этот вопрос остается нерешенным, и, согласно МЭ "несмотря на заглушку трубопроводов в Хэнфорде в течение многих лет, технологии удаления заглушек все еще недостаточно хорошо разработаны."

¹⁷⁸ DNFSB Staff Report, December 10, 2004. "Предварительные расчеты показывают, что в большей части трубопроводов черных и горячих секций накопились объемы водорода, которые были в десятки и сотни раз больше тех, которые рассматривались как минимальные уровни."

¹⁷⁹ DNFSB Staff Report, October 29, 2004.

¹⁸⁰ Defense Nuclear Facility Safety Board, Letter from John Conway, Chairman to: the Honorable Spencer Abraham, Secretary of Energy, March 23, 2001. (На площадке Саванна-Ривер неспособность организовать должную обработку вторичных отходов от промывки ила привела к засорению испарителей отходов значительной концентрацией высокообогащенного урана, создав опасения по критической безопасности. Кроме того, невозможность их переработки привела к реактивации устаревших резервуаров с одинарной оболочкой, которые впоследствии протекли. В течение более, чем года, завод переработки оборонных отходов на площадке Саванна-Ривер производил и сохранял большее количество отходов, чем он перерабатывал.)

¹⁸¹ Letter (with Attachments) from: E. S. Aromi, President and General Manager, CH2M HILL, to: R. J. Schepens, Manager, Office of River Protection, U.S. Department of Energy, September 12, 2003. (Впоследствии называется как Aromi.)

¹⁸² NUREG-1747, p. 122. ЯПК указала, что, "Для отказавших плавильных печей основная часть отвержденных отходов должна быть удалена для того, чтобы выполнить требования по утилизации вблизи поверхности. Не ясно, как это может быть достигнуто для плавильной печи без донных стоков."

¹⁸³ IMAP, p. 2.5.

¹⁸⁴ DOE/EIS-0250, February 2002, Appendix A, Table A-41, Примечание: по оценкам МЭ, по крайней мере 11 отказавших плавильных печей на площадке Саванна-Ривер и на демонстрационном заводе отверждения в Уэст-Вэлли, содержащие 1,052 тонны радиоактивных материалов, образуют в 46 раз больше тепла при распаде, чем канистра с высокоактивными отходами.

¹⁸⁵ DOE/ORP-2002-03, pp. 7.38, 7.27.

¹⁸⁶ Там же.

ки, с помощью которой ожидается переработать от 60 до 70 процентов отходов в резервуарах с одинарной оболочкой. Он заключается в прогреве отходов, перемешанных с грунтом, содержащим стеклообразующие материалы (например, песок, кварц) с помощью больших электродов в большом металлическом контейнере. Когда отходы будут остеклованы, электроды останутся в остеклованном материале и будут утилизированы вместе с отходами. Планируется использовать многочисленные контейнеры, а испытательный проект с использованием отходов из хэнфордского резервуара запланирован на следующий год. Как и в плавильных печах завода по переработке отходов, успех и безопасность объемного отверждения будет сильно зависеть от предварительной обработки и подготовки загрузки. Будут проработаны несколько этапов обработки перед отверждением: растворение солей для извлечения, рекристаллизация, химическая предварительная обработка, и сильное обезвоживание грунта и загрузки. Как указывалось, объемное отверждение будет оказывать потенциально серьезное долговременное воздействие на грунтовые воды от вторичных отходов¹⁸⁷. Взрыв пара в Хэнфорде в 1991 году при использовании объемного отверждения в резервуаре объемом 6000 галлонов (24 кубометра) послужит предупреждением, если МЭ продолжит свои начальные усилия по внедрению этой технологии.

¹⁸⁷ Aromi.