

ОТХОДЫ ПЛУТОНИЯ ОТ КОМПЛЕКСА ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ США

Роберт Альварец

Кажется, что количество плутония, выброшенного в отходы от комплекса ядерного оружия США, оказывается значительно больше, чем указано в заявлении Министерства энергетики (МЭ) США 1996 года о запасах плутония. Частично это связано с улучшенными характеристиками радиоактивных отходов и размещением остатков плутония, предназначенных поначалу для использования в оружии. На площадке Хэнфорд в штате Вашингтон находится наибольшее количество отходов плутония, которое представляют потенциально серьезный риск для людей в подземных водах и в прибрежных районах реки Колумбия. Министерству следует провести ревизию своего учета плутония и предпринять меры для удаления плутония, выброшенного в окружающую среду вблизи Хэнфорда, как это требуется сделать в национальной лаборатории Айдахо.

Роберт Альварец работает старшим ученым в Институте политических исследований, Вашингтон, округ Колумбия, США.

Статья получена 11 декабря 2009 года и принята к опубликованию 27 июля 2010 года.

Почтовый адрес для корреспонденций: Robert Alvarez, Senior Scholar, Institute for Policy Studies, Washington, D.C., USA.

Электронный адрес: bob@ips-dc.org

В 1996 году МЭ оценило, что Соединенные Штаты произвели и приобрели 111.4 тонны плутония. МЭ сообщило, что 12 тонн этого плутония больше не доступны для применения, включая 3.4 тонны, потерянные в отходах¹. Эта "разница в запасах" между запасами, занесенными в инвентарные книги и основанными на записях МЭ и оценках производства, приобретения и удалений, и измеренной величиной в реальных хранилищах составила 2.8 тонн плутония, то есть, 2.8 тонн произведенного, но не учтенного плутония.²

На основе более поздних данных о характеристиках отходов³ примерно 12.7 тонн (больше, чем 10% полного количества плутония-239, произведенного и приобретенного) рассматриваются сейчас ушедшими в потоки отходов. Пять площадок МЭ несут ответственность за примерно 99% этих отходов (Рис.1 и Рис.2).

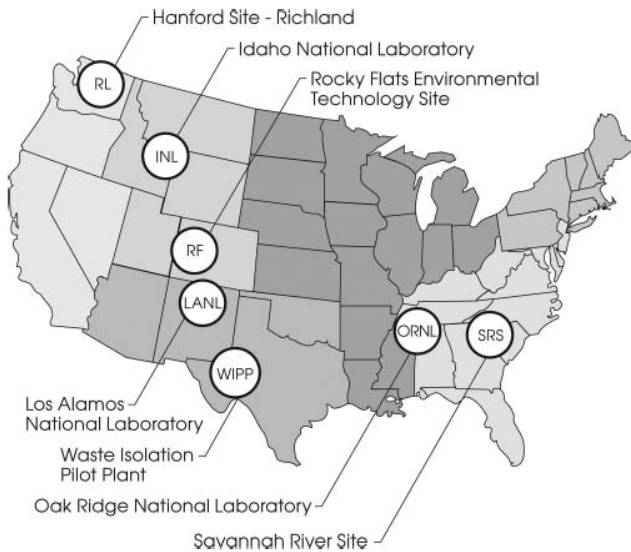


Рис. 1. Площадки для большого количества трансурановых отходов в США. МЭ США определяет "площадки для большого количества" как имеющие объемы отходов ТРУ, превышающие 14 тысяч кубических метров. Источник: DOE/TRU-09-3425, Revision 0. Надписи сверху (слева направо): площадка Хэнфорд – Ричленд, Национальная лаборатория Айдахо, площадка технологии окружающей среды в Роки Флетс. Надписи снизу (слева направо): Национальная лаборатория в Лос Аламосе, Опытный Проект по размещению отходов, Окриджская национальная лаборатория, площадка Саванна Ривер.

Из этих 12.7 тонн (Табл.1) примерно

- 2.7 тонны находятся в виде отходов с высоким уровнем радиоактивности. Они хранятся в виде жидкостей в емкостях или гранулированного материала в

ящиках на площадках американских военных заводов по переработке;

- 7.9 тонны находятся в твердых отходах, которые МЭ размещает в рамках опытного проекта по размещению отходов (WIPP) в геологическом хранилище для трансурановых (ТРУ) отходов (штат Нью Мехико);
- 2.1 тонны жидких и твердые отходы зарыты в почву до 1970 года или содержатся на установках нескольких площадок МЭ, которое считает большую часть этого плутония находящейся на постоянном размещении.

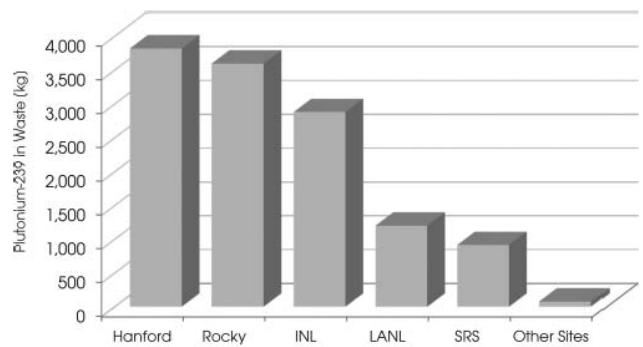


Рис. 2. Плутоний-239 в отходах на площадках МЭ (взято из Табл.1). Надписи на оси Y: Количество плутония-239 в отходах (кг). Надписи на оси X (слева направо): Хэнфорд Роки Флетс Айдахо Лос Аламос Саванна Ривер прочие площадки.

Заметное увеличение по сравнению с оценкой МЭ отходов связано со следующим:

1. Изменение классификации (перевод в отходы) более 3.7 тонн плутония в процессе очищения в Роки Флетс и Хэнфорде, первоначально направленного на возвращение плутония для оружия; и
2. Улучшение данных по характеристике отходов.

Площадка Хэнфорд в штате Вашингтон несет ответственность почти за треть плутониевых отходов (4 тонны) – это больше, чем любая площадка в американском комплексе ядерного оружия.

УЧЕТ ПЛУТОНИЯ В ОТХОДАХ

Содержащие плутоний отходы образуются на перерабатывающих предприятиях и там, где из плутония изготавливают оружейные компоненты и топливо. Плутоний – это трансурановый элемент, поскольку он тяжелее урана. ТРУ-отходы определены Агентством по окружающей среде (АОС) США как имеющие концентрацию более 100 нанокюри на грамм изотопа с альфа-излучением и период полураспада свыше 20 лет. Для плутония-239, который доминирует среди трансурановых отходов МЭ, 100

нанокюри на грамм трансформируются в 1.6 мг плутония-239 на кг отходов.

До начала 70-х годов ТРУ-отходы размещались, как радиоактивные отходы, прямо в почву. Но в 1970 году Комиссия по атомной энергии (предшественница МЭ) решила требовать размещения ТРУ-отходов в геологических хранилищах, предназначенных для содержания их, по крайней мере, в течение 10 000 лет. С 1970 года ТРУ-отходы США хранились в способных к перезагрузке контейнерах временного размещения.

Плутоний-239 представляет наибольшие опасения из-за его высокой концентрации и большого периода полураспада, равного 24100 лет. Его удельная активность в 200 000 раз выше, чем у урана, а основным видом излучения являются альфа-частицы. Со временем америций-241 - продукт распада плутония-241 (со временем полураспада 14 лет), создает и накапливает опасное и проникающее гамма-излучение от ТРУ-отходов.

Альфа-частицы быстро теряют энергию в живой ткани и вызывают плотный след из разрушенных молекул.

Частицы, имеющие несколько микрон в диаметре, способны к глубокому проникновению в легкие и лимфатические узлы, а также передаваться потоком крови в печень, на поверхность костей и в другие органы. Высокие дозы от вдыхания ТРУ могут вызвать повреждения легких, фиброзы и даже смерть. Вдыхание десятка микрограммов может привести к раку⁴. Сообщается, что за последние несколько лет значительно выросло число сообщений о раке у рабочих, подвергшихся облучению от плутония⁵.

Поведение плутония в окружающей среде зависит от его химической формы. Было обнаружено, что он мигрирует на более далекие расстояния, чем предполагалось⁶. Как отметил С. Хеккер – бывший директор Национальной лаборатории в Лос Аламосе, это поведение является “одним из наиболее сложных приложений современной химии из-за присущей сложности плутония и соответствующей сложности естественной окружающей среды”⁷.

Табл. 1. Плутоний в отходах (кг).

Площадка	Описание	МЭ-1996 ^a	Данные об отходах МЭ
Роки Флэтс	Твердые отходы (теперь в WIPP)	47	3783 ^b
Хэнфорд	Отходы с высокой активностью	465	1115 ^c
Хэнфорд	Твердые отходы (в WIPP)	875	1965 ^d
Хэнфорд	Зарытые твердые отходы	-	452 ^{d,e}
Хэнфорд	Зарытые жидкие отходы	92	205 ^f
Хэнфорд	Жидкие отходы в установках и емкостях	-	264 ^f
Национальная лаборатория в Лос Аламосе	Твердые отходы (в WIPP)	610	791 ^g
Лос Аламос	Захороненные отходы	-	50 ^{g,h}
Национальная лаборатория в Айдахо	Твердые отходы (в WIPP)	1106	1062 ^g
Айдахо	Твердые отходы (до 70-х годов)	-	1078 ⁱ
Айдахо	Кальцинированные отходы с высокой радиацией	72	771 ⁱ
Айдахо	Растворы, хранимые в емкостях	8	8 ^a
Саванна Ривер	Отходы с высокой активностью	575	847 ^k
Саванна Ривер	Твердые отходы (в WIPP)	193	193 ^l
Саванна Ривер	Захороненные отходы	-	25 ^l
Другие площадки МЭ	Твердые отходы (в WIPP)	59	82 ^l
Другие площадки МЭ	Захороненные отходы	-	27 ^m
ВСЕГО		3919	12717

^a Смотрите¹

^b Смотрите⁹

^c Смотрите¹⁴

^d У.Гринхэг, “Твердые трансураниевые отходы в Хэнфорде до 1970 года”, WHC-SD-WM-ES-325, 1995.

^e Служба здоровья штата Вашингтон, “Заключительное заявление о влиянии на окружающую среду. Размещение на площадке Ричмонд коммерческих радиоактивных отходов с малой интенсивностью”, том 1, публикация Службы здоровья 320-031, май 2004 года.

^f МЭ США, “Заявление о проекте закрытия резервуара и влиянии на окружающую среду управления отходами на площадке Хэнфорда, Ричмонд, Вашингтон”, DOE/EIS-0391, октябрь 2009 года, Приложение S.

^g МЭ США, “Итоговые данные о радиоактивных отходах, отработанном ядерном топливе и зараженной среде, управляемых МЭ США, DOE/EM-00-0384. 2004.

^h МЭ США. Отдел управления окружающей средой. Памятная записка Ричарда Джимонда относительно плутония в запасах отходов, 30 января 1996 года.

ⁱ Т.Бетчелер и др., “Коллоидный плутоний в подпочвенной зоне OU 7-13-14: оценки запасов и характеристик переноса”, Айдахо, LLC, IC P/EXT-04-00253, май 2004 г.

^j МЭ США, “Размещение отходов с высоким уровнем радиоактивности и установок в штате Айдахо, заявление о воздействии на окружающую среду”, DOE/EIS-0287, приложение C-7, таблица C-7.

^k МЭ США, “Данные о резервуаре для отходов с высокой активностью”, 1999 год.

^l МЭ США, “Рабочий план/исследование установок RCRA/отчет о деятельности по восстановлению почвы старого захоронения радиоактивных отходов”, тома 1 и 2, WSRC-RP-97-00127, август 2000 года.

^m Дж.Трабалка, “Захороненные трансураниевые отходы в Окридже: Обзор прошлых оценок и сравнение с текущей информацией”, ORNL RM-13487, 1997. Кохрен и др., “Захоронение на умеренной глубине секретных трансураниевых отходов в сухой наносной почве”, LA-UR-99-639. апрель 1999 года. Дж.Шофф и др., “Специальные анализы трансураниевых отходов в котлованах невадского полигона”. DOE/NV/25946-47, май 2008 года.

В 1980 году Конгресс США санкционировал строительство и постройку глубоко зарытого под землю WIPP вблизи Карлсбада в штате Нью Мехико для ТРУ-отходов, созданных в результате работ по военным задачам⁸. Был выбран солевой пласт из-за его устойчивой долговечности и возможности самостоятельного восстановления повреждений. Установка WIPP находится на

глубине 660 метров и имеет утвержденную емкость в 175 тысяч кубометров. С учетом последних сведений о характеристиках отходов МЭ оценило, что 83 050 кубометров трансураниевых отходов, содержащих 7.9 тонн плутония, будут расположены в WIPP. Примерно половина этого плутония уже помещена на место⁹.

Переквалификация

Во время холодной войны плутоний, оставшийся от производственных процессов, сохранялся и повторно использовался, если цена была меньше, чем изготовление нового плутония в производственных реакторах. После снижения запаса боеголовок времен холодной войны МЭ перестало больше нуждаться в его остатках и перевело их в отходы. Около трех с половиной тонн плутония в остатках из завода МЭ в Роки Флэтс были размещены в WIPP¹⁰. В Хэнфорде 0.2 тонны плутония в остатках, отложенного поначалу в сторону для возврата в оружие, также были переданы в WIPP¹¹. Дополнительные количества плутония, отложенного поначалу для оружия на площадке Саванна Ривер, в Хэнфорде и Лос Аламосе, также оказались переквалифицированными в отходы¹².

Лучшие характеристики отходов

До 1970 года, когда было произведено большинство американского плутония, технологии измерений материала «были менее аккуратными, чем сейчас»¹³. За последние годы соглашения по охране природной среды со странами-владельцами привели к более тщательным измерениям плутония в отходах, что в ряде случаев привело к заметным увеличениям. Например, количество плутония в хэнфордовских баках для радиоактивных отходов с высоким уровнем радиации оказалось больше в два раза по сравнению с оценками 1996 года¹⁴.

Действительно, повторные измерения в Хэнфорде могут потребовать увеличения оценок начального количества плутония, произведенного там. В соответствии с изучением потока и учета ядерного материала, проведенным в 2001 году в Хэнфорде, «Количества ЯМ (ядерного материала), удаленного из запасов в качестве НОП (нормальные операционные потери) не согласуются с величинами ЯМ, которые классифицируются как отходы... Значительно больше ЯМ было произведено в реакторах, но не возвращено на разделительные установки, а удалено вместе с отходами от деления»¹⁵.

ОТХОДЫ ПЛУТОНИЯ В ХЭНФОРДЕ

На площадке Хэнфорд естественный (0.71% урана-235) или слегка обогащенный (в основном 0.95-1.25% урана-235) металлический уран покрывался алюминием для создания топлива производственных реакторов (Рис.3). Облученное топливо помещалось в бассейны с водой для охлаждения и распада короткоживущих радионуклидов до отправки для химического разделения плутония и урана. Потрескивания и коррозия облученного топлива передавались оставшемуся в бассейне плутонию и приводили к заражению окружающей среды¹⁶.

Плутоний был выделен примерно из 99000 тонн обработанного уранового топлива на четырех химических разделительных заводах, работавших с перекрывающимися периодами¹⁷. Дополнительные количества плутония поступали с внешних перерабатывающих установок и даже из зарубежных источников¹⁸. Около 70% облученного топлива обрабатывалось на заводе по извлечению плутония и урана (PUREX), чьи химические процессы в дальнейшем применялись на заводах по переработке во всем мире. После химического разделения жидкие переработанные отходы, содержавшие остаточные количества плутония и других трансуранов, в основном переносились в емкости для сильно радиоактивных отходов. Жидкие отходы, содержавшие плутоний, направлялись также в стальные камеры, траншеи и пруды¹⁹.

Начиная с 1949 года, выделенный на разделительных заводах нитрат плутония направлялся на завод по окончательной обработке плутония в Хэнфорде (PFP), где плутоний очищался в металлический вид или в оксиды²⁰. Жидкие отходы сливались в неподготовленную почву на участках отчуждения до 1973 года, откуда они направлялись по передающим линиям в резервуары для отходов с высокой активностью²¹. Около 86 процентов слива жидких отходов, содержавших плутоний из Хэнфорда, произошли в зоне PFP²².

В соответствии с заявлением МЭ о плутонии в 1996 году около 2% полного количества плутония, произведенного в Хэнфорде, ушло в отходы (1.1 тонны)²³. Более

свежие данные о характере отходов говорят примерно о шести процентах плутония, произведенного в Хэнфорде и ушедшего в отходы (4 тонны), что больше, чем на любой другой площадке МЭ.

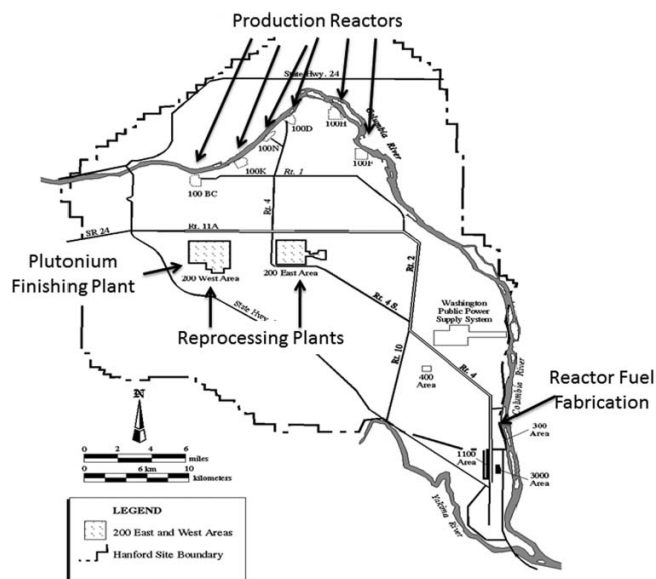


Рис. 3. Производство плутония в Хэнфорде. Источник: Адаптация автором доклада МЭ DOE/EIS-0189, 1966, Рис. В.1.1.1. На рисунке представлена схема площадки Хэнфорд. Она простирается примерно на 40 км с запада на восток и на слегка большее расстояние с севера на юг. Масштаб представлен в левой нижней части рисунка. В северной части площадки располагаются производственные реакторы. На них указывают стрелки. Чуть южнее площадку пересекает река Колумбия. В центре площадки находятся отмеченные стрелками три завода: слева – завод по окончательной обработке плутония, в центре – два завода по переработке. Еще одна стрелка на юго-востоке указывает на положение предприятий по производству реакторного топлива. В левом нижнем углу находится окошко с обозначениями: восточная и западная зоны 200 (сверху) и границы площадки Хэнфорд (снизу).

Из этого количества около 2.7 тонн плутония в форме жидких и твердых отходов были, в основном, выброшены или закопаны в почву. Почти 1.1 тонны оставшегося плутония (в основном, от заводов по переработке) были помещены в емкости для отходов с высокой радиоактивностью²⁴ и, как считается, 264 кг содержатся в лабораториях, на заводах по переработке и в емкостях. МЭ планирует поместить содержащие плутоний отходы с высокой активностью в стеклянные стержни для геологического захоронения.

Перед 1970 годом около 371 кг плутония в твердых отходах были сброшено в картонные коробки, которые затем поместили в плохо подготовленные траншеи, большей частью связанные с PFP²⁵. Между серединой 60-х годов и 1980 годом около 100 кг плутония было сброшено аналогичным образом на свалку коммерческих радиоактивных отходов, расположенную в зоне 200-East в Хэнфорде²⁶.

Производственные записи в Хэнфорде, похоже, понимали потери плутония. Как отмечали исследователи в 2001 году, «Возможность измерять содержание плутония в потоках отходов была значительно хуже по сравнению с возможностью измерить плутоний в первичных потоках сырья и продукта»²⁷. Подходящим примером кажется участок 216-Z-9 – площадка для сброса в почву размером примерно 10x20 м², которая действовала с 1955 года по 1962 год, получая отходы с установкой RECUPLEX после операций по очистке от обломков в зоне PFP. Всего было удалено, примерно, до миллиона галлонов отходов, содержавших плутоний²⁸. Хотя в рабочих записях указано, что на участок было выброшено около 27 кг плутония, взятые через несколько лет после закрытия участка об-

разцы почвы указывают, что участок мог содержать до 150 кг плутония с концентрацией в почве, доходящей до 34.5 граммов на литр²⁹. Этого было бы достаточно, чтобы при затоплении могло возникнуть критичное ядерное событие, способное создать близкие к смертельным дозы для рабочих³⁰. В конце 70-х годов 58 кг плутония было удалено из верхних 30 см грунта с использованием оборудования, управляемого на расстоянии³¹.

Около двух тонн плутония, зарытого на площадке Хэнфорд, планируется удалить в WIPP³². Оставшиеся 0.7 тонны были захоронены еще до 1970 года³³. Как заявило отчетное Правительственное управление, "МЭ долго рассматривало отходы, удаленные до 1970 года на постоянное хранение"³⁴. Представители МЭ изучают долгосрочные усилия по обслуживанию, которые во многом опираются на контроль над землей, разведку площадки, мониторинг, технический контроль, ведение отчетности и на связанную деятельность с небольшими затратами. Но федеральный институциональный контроль требует, чтобы размещение радиоактивных отходов на площадках МЭ оставило менее одного из десяти тысяч шансов для преодоления стандартов Агентства по охране окружающей среды на питьевую воду в течение 10 тысяч лет³⁵.

В 2000 году Национальная академия наук США выступила против подхода МЭ и пришла к выводу: "Институциональный контроль провалится. Прошлый опыт с такими мерами предполагает, однако, что неудачи, возможно, проявятся в ближайшем будущем, а в результате люди и природные ресурсы будут поставлены под угрозу"³⁶.

Недавняя оценка МЭ подчеркивает опасения Академии и находит, что плутоний в грунтовых водах от свалок на площадках Хэнфорда может достигнуть ближайших берегов реки Колумбия менее, чем за 1000 лет, с концентрациями, превышающими федеральный стандарт на питьевую воду в 283 раза³⁷.

Миграция плутония под местами сброса в Хэнфорде усиливается растворителями, кислотами и концентрированными солями³⁸. На основе шахтных измерений плутония найдено, что содержание плутония относительно равномерно по глубине и превышает предел в 100 нанокиюри на грамм, требуемый для удаления и размещения в геологических хранилищах, до глубин, превышающих 30 метров. Глубокое загрязнение ненасыщенной почвы (верховой зоны) в Хэнфорде, похоже, на порядки величины больше, чем на площадке МЭ в штате Айдахо, которая имеет более высокую концентрацию отходов трансуранов, захороненных до 1970 года (Рис.4)³⁹.

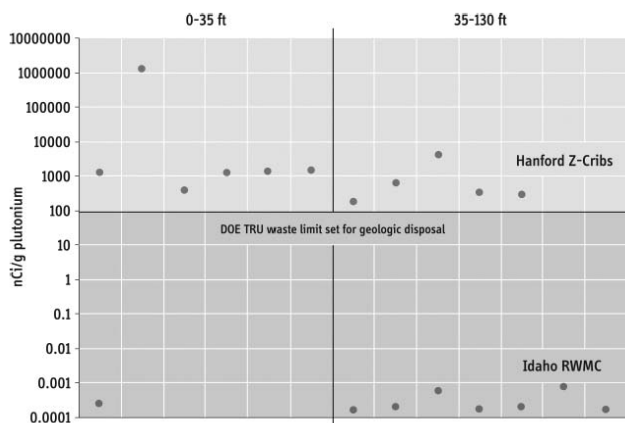


Рис. 4. Загрязнение внутреннего слоя на площадках МЭ в Хэнфорде и штате Айдахо. Уровень загрязнений на участках в Хэнфорде лежит выше порога МЭ для удаления в хранилище типа WIPP до глубины около 40 метров. Источник: USDOE/INEL, EGG-ER-10546, (3 марта 1994 года). По вертикальной оси слева отложена величина удельной активности (нКи на грамм плутония); горизонтальная ось сверху разбита на два участка: левый соответствует глубине 0-11 метров, а правый – 12-40 метров. Светлая область соответствует данным из Хэнфорда, а более темная – данным из Айдахо. Горизонтальная полоса между ними проведена по линии 100 нКи/грамм Pu. Точки соответствуют местам измерений.

ОТХОДЫ ПЛУТОНИЯ В НАЦИОНАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ШТАТА АЙДАХО (НЛА)

НЛА оценила, что было захоронено около 1.1 тонны плутония-239 до 1970 года⁴⁰. Начиная с 1954 года, сохранившиеся плутоний отходы с завода МЭ в Роки Флэтс, изготовлявшие плутониевые оружейные компоненты, откладывались в НЛА. После крупного пожара в августе 1969 года на заводе Роки Флекс результатом стало захоронение не имевшего прецедента количества плутония-239 в Айдахо⁴¹. Штат сопротивлялся дальнейшему размещению плутония и настаивал на удалении этих отходов с площадки. Оппозиция Айдахо оказала влияние на решение МЭ создать хранилище WIPP и потребовать, чтобы отходы трансуранов, созданные после 1970 года, имели возможность возврата. В 1995 году штат Айдахо вступил в соглашение с МЭ и Агентством по охране окружающей среды, требовавшее удаления радиоактивных отходов большой интенсивности, отработавшего реакторного топлива и отходов трансуранов из штата к 2035 году. Хотя федеральный окружной суд в Айдахо вынес решение в пользу штата в 2009 году, МЭ, тем не менее, отказалось выводить ТРУ-отходы, захороненные в НЛА до 1970 года⁴².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доклад МЭ США "Плутоний: Первые 50 лет" показал различие между учетом по записям в реестрах и оценкам производства плутония, приобретения и удаления с одной стороны и измеренными количествами в запасах – с другой. Разница составила 2.8 тонн, то есть, 2.8 тонны не были учтены. С учетом новых и пересмотренных данных по отходам большая часть различий в запасах будет удалена. В зависимости от того, какая доля увеличения плутония в отходах связана с изменением классификации, а какая обязана улучшениям характеристик отходов, оценки производства плутония надо будет слегка поднять по отношению к данным 1996 года.

Министерство энергетики (МЭ) несет ответственность за правительственную информационную систему управления ядерными материалами и их учета (MMMSS), содержащую текущие и исторические сведения о владении, использовании и отправке ядерных материалов. Однако, последние сведения о характере отходов не были включены в систему MMMSS, поскольку данные о плутонии в материалах, которые были заявлены как отходы, не обновлялись систематически. Это создало значительные проблемы по учету как на национальном, так и на международном уровнях. К счастью, МЭ решило обновить заявление 1996 года, чтобы отразить улучшенные сведения о содержании плутония в отходах. Это снизит неопределенности в истории производства плутония и обеспечит дополнительную уверенность в данных по отходам.

Несмотря на наличие значительной глубокой миграции под поверхностью, МЭ сейчас планирует оставить в почве около 0.7 тонны плутония, размещенного до 1970 года, на основании заключения о его экологической чистоте для Хэнфорда. Но МЭ должно удалить столько погребенного плутония, сколько возможно, для отправки его в геологические хранилища, как это делается в Национальной лаборатории штата Айдахо.

Контроль Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) за отходами, уже помещенными в WIPP, может оказаться непрактичным. Но следует изучить, должно ли МАГАТЭ проверять будущие погружения в WIPP и заявленное содержание плутония в отходах, чтобы обеспечить базис для международного доверия к заявлениям США о размещении американского плутония и подготовить шаблон для размещения в других странах отходов, содержащих плутоний.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Министерство энергетики (МЭ) США, "Плутоний: первые 50 лет," DOE/DP-0137, Рис. 12,14 (февраль 1996 года), 77-82, <http://ipfmlibrary.org/doe96a.pdf>. 3.4 тонны определены как нормальные операционные потери (НОП). Таблица 16 на основе прямых измерений отходов указывает на количество отходов, равное 3.9 тонны (Смотрите

- табл.1 в этой статье). Различие в 0.5 тонн относится к двум основным случаям, что поясняется в докладе МЭ. Во-первых, отходы отслеживаются по причинам безопасности окружающей среды и ради здоровья. Поэтому их не следует подсчитывать как нормальные операционные потери. Во-вторых, в прямые расчеты отходов включаются источники за пределами участка, а нормальные операционные потери учитывают только отходы от правительственной продукции на участке.
2. Смотрите¹, Рис. 1 и 3.
 3. Смотрите примечания к Табл.1 и ссылки к информации о конкретных площадках для отходов трансуранов.
 4. Национальный исследовательский совет, *Управление избыточным плутонием и его размещение* (Вашингтон, округ Колумбия, издательство Академии наук, 1995), 333, <<http://www.nap.edu/catalog.php?record.id=2345#toc>>.
 5. Агентство по регистрации токсичных заболеваний, Отделение здоровья и обслуживания пациентов, "Токсикологическая картина плутония," сентябрь 2007 года, <<http://www.atsdr.cdc.gov/facts143.pdf>>.
 6. А. Керстин, Д.Фейд, Д.Финнеган, Д.Рук, Д.Смит и Дж.Томпсон, "Миграция плутония в почвенных водах на невадском полигоне." *Nature* 397 (7 января 1999 года), стр.56-59.
 7. С Хеккер, "Наука о плутонии бросает вызов будущим ученым", *Actinide Research Quarterly*, 2nd/3rd Quarter, (2000), <<http://www.lanl.gov/source/nmt/nmtdo/AQarchive/00fall/editorial.html>>.
 8. МЭ США, *Национальная безопасность и военные применения атомной энергии – Акт о разрешении 1980 года*, Закон 96-164.
 9. МЭ США, Карлсбадское полевое управление, "Ежегодные запасы трансурановых отходов – доклад за 2009 год", DOE/TRU-09-3425. Rev. 0 (2009), Таблицы 3-1, 3-2, 3-11 и 12, <http://cid.em.doe.gov/pdfs/Annual.TRU.Waste.Inventory.Report-2009.DOE.TRU-2009-3425.pdf>.
 10. МЭ США, "Доклад о решении по управлению сплавами некоторых остатков плутония и металлического лома на площадке по технологии окружающей среды в Роки Флэтс," *Федеральный Регистр*, том 63, N 230 (1 декабря 1998 года), "Дополнительный анализ размещения некоторых материалов, содержащих плутоний, из Роки Флэтс на опытном заводе по изоляции отходов," DOE/EIS-0026-SA-3 (ноябрь 2002 года), <<http://www.wipp.energy.gov/Documents.All.Title.htm>>; "Управление некоторыми остатками плутония и сплавом с металлическим ломом на площадке Роки Флэтс по технологии окружающей среды," *Федеральный Регистр*, том 66, номер 12 (18 января 2001 года), http://nepa.energy.gov/nepa_documents/rods/2001/4803.pdf.
 11. Д.Лини и Л.Роджерс, "Завод по окончательной обработке плутония – оксиды урана и плутония, характеристики образцов, содержащих менее 30 весовых процентов плутония," HNF-10919, Rev.0 (март 2002 года), <<http://www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?query.id=3>>
 12. Из обсуждения автора с Мэттью Маккормиком – менеджером операционного управления в Ричленде, 29 июля 2010 года.
 13. Смотрите ссылку¹, стр. 52.
 14. МЭ США, "Система определения отходов в бассейне. Наилучшая основа для оценок", Корпорация Флер в Хэнфорде, 090803, (сентябрь 2003 года).
 15. МЭ США, "Потоки массы ядерного материала и подотчетность на площадке Хэнфорд," Корпорация Флер в Хэнфорде, HNF-8069 (октябрь 2001 года), стр. 3-7, http://www5.hanford.gov/pwdocs/fsd0001/osti/2001/100353_19.pdf>.
 16. Г.Мэйлингер, К.Делюж, М.Гербер, Б.Нэт, А.Шмидт и Т.Уолтон, "Варианты размещения отработанного ядерного топлива в иле К-бассейна на площадке Хэнфорд", PNNL-14729 (январь 2004 года), <<http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical-reports/PNNL-14729.pdf>>; П. Джермен. У. Кууп и Ф.Оуэн. "Выбросы радиоактивности в реку Колумбия от разрывов облученных топливных элементов", Операции по атомному производству в Хэнфорде, RL-REA-2160 (май 1965 года), <<http://www5.hanford.gov/drs/common/findpage.cfm?AKey=D9042989>>; Р.Петерсон, "Задача слежения за грунтовыми водами в К-бассейнах, проект отработанного ядерного топлива: отбаты за апрель, май и июнь 2006 года," PNNL-16001 (август 2006 года), <<http://www.pnl.gov/main/publications/external/technical-reports/PNNL-16001.pdf>>.
 17. Смотрите¹⁵, стр. 2-3.
 18. Смотрите¹⁵, стр. 2.4.
 19. Смотрите¹⁵, стр. 4.4.
 20. Смотрите¹⁵, стр. 4-5.
 21. Смотрите¹⁵, стр. 4-6.
 22. МЭ США, CH2MHILL, *Данные о модели запасов почвы в Хэнфорде* (SIM 2005), PFP, WTP-ETF-A-C-Farm, 200 нераспределенных участков первой и второй категории, У-завод, Т- завод, S.U.- ферма, необработанные земли, Redox, PUREX, 200 Е-прудов, 200 W-прудов, В-завод, WM, NRDWL-BC-контроль и PFP зоны, 2005, PFP зона, 2005.
 23. Смотрите¹ стр. 56.
 24. Смотрите¹⁴.
 25. У.Гринхалф, "Твердые трансурановые отходы в Хэнфорде до 1970 года," Компания Вестингауз в Хэнфорде, WNC-SD-WM-ES-325, табл. 4.1, стр. 4.1.
 26. Департамент здравоохранения штата Вашингтон, "Заключительное заявление о влиянии на окружающую среду площадки для размещения коммерческих отходов с низким уровнем радиоактивности в Ричленде, Вашингтон," том 1, DOH Publication 320-031, табл.D, (май 2004), стр. 55-56, <http://www.doh.gov/ehp/rp/waste/vol1.pdf>
 27. Смотрите¹⁵, стр. 4-6.0.
 28. К.Риджуэй, М.Ветч, Д.Кроули и Виктор Свиридов, "История участка 216-Z-9 Crib и анализ безопасности", Атлантик Ричмонд Компании, ARH-2207 (ноябрь 1971 года), стр.1, <http://www5.hanford.gov/ddrs/common/findpage.cfm?AKey=D8639356ARH-2207>. Обратите внимание на сайт D8639356ARH-2207.
 29. С. Шарбона, А.Хопкинс, К.Саттер и Дж.Тил, "Списание участка 216-Z-9 Crib около завода по окончательной обработке плутония: суть проблемы," Компания Флер в Хэнфорде, HNF-304575-FP, Rev.0 (2007), 1, <<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/908812-OJpjkK/>>.
 30. М.Якобс и Д.Убелакер, "Радиоактивные загрязнения в жидких отходах, сброшенных на почву в пределах зоны химического разделения в течение 1969 года," Компания "Атлантик Ричмонд-Хэнфорд", ARH-1608 (март 1970 года), стр. 21 <<http://www5.hanford.gov/ddrs/common/findpage.cfm?AKey=D8603996>>.
 31. Смотрите⁹.
 32. Смотрите⁹.
 33. Смотрите²⁸.
 34. Управление по отчетности правительства США, доклад Подкомитету по воде и энергетике Комитета по ассигнованиям Палаты представителей, "Ядерные отходы; планы, относящиеся к наиболее захороненным отходам, не завершены и окончательные оценки затрат скорее всего вырастут," GAO-07-761 (июнь 2007 года) <http://www.gao.gov/new.items/do7761.pdf>>.
 35. МЭ США, Ядерная нормативная комиссия и Агентство по защите окружающей среды, Межведомственный комитет по радиационным стандартам, "Федеральные требования по контролю за радиоактивными отходами и по ограничению освобождения сохраняемого должным образом радиоактивного материала" (без даты) <<http://www.hss.energy.gov/nuclearsafety/env/guidance/aea/radtabls.pdf>>.
 36. Комитет по восстановлению погребенных и затопленных отходов, Совет по управлению радиоактивными отходами, Национальный Исследовательский Совет, *Долгосрочное управление Министерством энергетики США оставшимися в наследство площадками с отходами*, (Вашингтон. Издательство Академии наук, 2000) <http://www.nap.edu/catalog.php?record.id=9949toc>.
 37. МЭ США, "Заявление о воздействии на окружающую среду на площадке Хэнфорд проекта закрытия бассейнов и управления отходами," Ричленд, Вашингтон, DOE/EIS-0391, (октябрь 2009 года), Приложение D, таблица U-2 <<http://nepa.energy.gov/documents/EIS-0391.D-AppendixU.pdf>>.
 38. То же самое, что в³⁷, за исключением нового адреса в Интернете: <http://nepa.energy.gov/1148.htm>.
 39. МЭ США, Национальная инженерная лаборатория штата Айдахо, Дэймс и Мур, "Сбор и обобщение данных по переносу радионуклидов, находящихся под поверхностью зоны размещения в комплексе по управлению радиоактивными отходами", EGG-ER-10546, Rev.3 (март

1994 года), <<http://ar.inel.gov/owa/getgif.2?F.DOC=EGG-ER-10546&F-REV=03&F.PAGE=1&F-GOTO=1>>; Министерство энергетики, Отдел управления окружающей средой, компания Столлер, Хэнфорд, "Отчеты о каротажных скважинах", DOE-EM/GJ922-2005 (2005).

40. Т.Батчеллер, Дж.Редден, "Коллоидный плутоний в зоне OU 7-13/14 размещения под поверхностью: оценка запасов и свойства переноса," Бечтель BWTX, Айдахо LLC, IC P/EXT-04-00253 (май 2004), <http://ar.inel.gov/images/pdf/200405/2004051900569GSJ.pdf>; и МЭ США, "Ежегодный отчет о запасах трансурановых отходов" (смотрите ⁹, стр.144-147). В соответствии с последним докладом три потока трансуранов (образованных до 1970 года) с полным объемом 8470 кубометров и содержащих 4800 кюри плутония-239, а также 1080 кюри плутония-240 (77 и 4.6 кг, соответственно) планируются в настоящее время к размещению в WIPP.

41. Смотрите⁴⁰.

42. Окружной суд США округу Айдахо, *Соглашение о реализации ордера окружного суда США от 25 мая 2006 года* (1 июля 2008 года).