

УЩЕРБ ОТ БОЛЬШОГО ВЫБРОСА ^{137}Cs В АТМОСФЕРУ СОЕДИНЕННЫХ ШТАТОВ

Ян Бейеа, Эд Лайман, Фрэнк фон Хиппель

Мы сообщаем результаты оценок стоимости эвакуации, дезактивации, потери собственности и смертельных исходов от рака из-за выбросов 3,5 и 35 МКи при пожаре отработанного топлива в атмосферу на пяти площадках атомных электростанций США. Использовалась модель дисперсии в атмосфере MACCS2 со средними условиями дисперсии и усредненной по азимуту радиальной плотности населения. Оценки расходов на дезактивацию в основном базируются на результатах исследования Сандии. Наши средние по пяти площадкам последствия оцениваются в 100 млрд. долл. и 2000 смертных случаев для выброса 3,5 МКи, и в 400 млрд. долл. и 6000 смертных случаев для выброса 35 МКи. Следствия из анализа соотношения стоимости и эффективности обсуждаются в разделе «Сокращение опасности».

Статья получена 21 января 2004 г. и принята к опубликованию 21 января 2004 г.

Ян Бейеа, Консультации в общественных интересах, Ламбертвилль, Нью-Джерси.

Э. Лайман, Союз обеспокоенных ученых, Вашингтон, округ Колумбия.

Ф. фон Хиппель, Программа по науке и всеобщей безопасности, Принстонский университет, Принстон, Нью-Джерси.

Почтовый адрес для корреспонденции: Jan Beyea, Consulting in the Public Interest, 53 Clinton St., Lambertville, NJ 08530. Электронный адрес: jbeyea@cipi.com

* Дополнение к статье «Ослабление опасности от хранящегося отработанного топлива энергетических реакторов в США», Роберт Альварец, Джен Бейеа, Клаус Янберг, Юнгмин Канг, Эд Лайман, Аллисон Марферлейн, Гордон Томпсон, Фрэнк Н. Фон Хиппель, *Science & Global Security*, 11(2003), pp. 1-51.

ВВЕДЕНИЕ

В статье «Ослабление опасности от хранящегося отработанного топлива энергетических реакторов в США» (*Science & Global Security*, 11(2003), pp. 1-51), соавторами которой мы были, цитируются результаты исследования в Брукхейвене¹, в котором ущерб от выброса 8-80 МКи ^{137}Cs в атмосферу оценивался в 117-566 млрд. долл. и 54 000 – 143 000 смертных случаев от рака. В статье «Ослабление опасности» также было включено (в сноске 29) расчеты ущерба на основании модели «клина» для дисперсии в атмосфере для выбросов в 3,5 и 35 МКи в предположении однородной плотности населения в 250 км^{-2} . В этой заметке мы представляем результаты вычисления, основанного на реальном радиальном распределении плотности населения вокруг пяти реакторных площадок США с использованием модели дисперсии в атмосфере MACCS2 лаборатории Сандия².

Плотность населения

Мы использовали распределения населения в 2000 г., усредненные по азимуту в окрестностях пяти выбранных расположений, представляющих диапазоне реакторных площа-

¹ *A Safety and Regulatory Assessment of Generic BWR and PWR Permanently Shutdown Nuclear Power Plants* by R. Travis et al., (Brookhaven National Lab, BNL-NUREG-52498, 1997).

² D. I. Chanin and M. L. Young, *Code Manual for MACCS2: Volume 1, User's Guide*, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM, SAND97-0594, March 1997. Как в статье «Ослабление опасности», мы предполагали постоянную скорость ветра 5 м/с, отсутствие дождя, высоту слоя перемешивания 1000 м, средние (типа D) условия атмосферной дисперсии и скорость осаждения ^{137}Cs 0,01 м/с.

док в США: Катауба, около Рок-Хилл в Южной Каролине, Индиан Пойнт, на реке Гудзон около Нью-Йорка, округ ЛаСаль вблизи Спрингфилда, Иллинойс, Пало Верде, около Феникса, в Аризоне, и остров Три Майл Айленд, около Харрисбурга, Пенсильвания.

На рис.1 показано общее распределение плотности населения по радиусу от каждой из этих атомных электростанций в пределах до 1600 км, умноженное на множитель $0,24/(2\pi)$.³ Этот множитель используется для того, чтобы рисунок использовался для создания ощущения количества населения, которое может оказаться внутри подветренного выброса, который мы аппроксимировали для этой цели радиальным клином с углом раскрытия 0,24 радиана. Мы не включали населения Канады и Мексики.

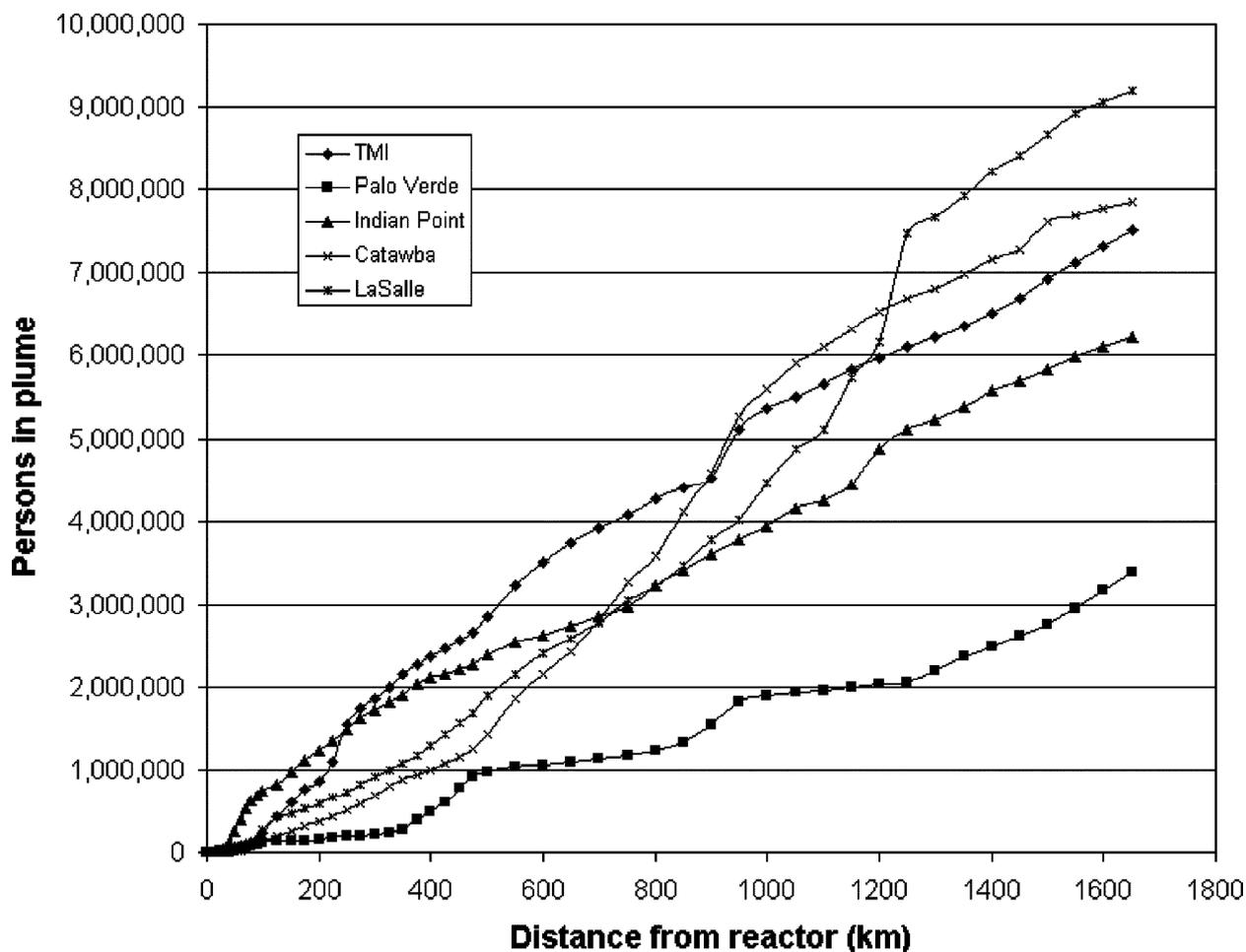


Рис. 1. Общее население в зависимости от расстояния для пяти атомных электростанций США, умноженное на фактор ширины клина 0,038.

Пороги загрязнения для эвакуации

Агентство по охране окружающей среды (EPA) предложило допустимые пределы дозы радиации для незащищенного населения, при превышении которых рекомендуется эвакуация. Эти пределы показаны в табл. 1 вместе с соответствующими пределами загрязнения, рассчитанными EPA и по модели MACCS2.

³ Радиальное распределение плотности населения было рассчитано при помощи данных по компьютеризованным трекам переписи 2000 г., доступных от GeoLytics, (<http://www.censuscd.com>). Согласно Бюро переписи, «треки переписи обычно включают от 1500 до 8000 человек» (http://www.census.gov/geo/www/cob/tr_metadata.html)

Табл. 1. Пределы ЕРА для дозы радиации (без защиты) для долгосрочного пребывания на загрязненной земле и соответствующие определенные уровни поверхностного загрязнения ^{137}Cs .

Период	Предел дозы ЕРА (бэр)	Уровень загрязнения ^{137}Cs	
		ЕРА ⁴	МАСС2 ⁵
Первый год после выброса	2	44,4	41
Второй год после выброса	0,5	17,2	14,4
Накопленная доза за 50 лет	5	8,2	6

Мы выбрали уровень загрязнения ^{137}Cs в 15 Ки/км² в качестве нашего порога для дезактивации. Это примерно соответствует пределу ЕРА для дозы незащищенного населения не более, чем 0,5 бэр на второй год экспозиции. Этот уровень загрязнения приведет к общей дозе за 50 лет, превышающей предел ЕРА в 5 бэр больше, чем в два раза. Тем не менее, порог в 15 Ки/км² соответствует определению зоны «строгого радиационного контроля», установленной в области, загрязненной при аварии на Чернобыльской АЭС. Согласно последнему исследованию ООН последствий аварии на Чернобыльской АЭС, «внутри этих районов радиационный мониторинг и меры предохранения обычно были успешными для поддержания годовой эффективной дозы в пределах 0,5 бэр/г»⁶. Область, примерно равная той, которая была заражена выше 50 Ки/км², остается эвакуированной⁷.

Дезактивация

Наиболее позднее и подробное исследование эффективности и стоимости дезактивации было проведено в национальной лаборатории Сандия в 1996 г.⁸ Исследование касалось проблемы дезактивации после разброса плутония при аварии с боеголовкой, но в основном базировалось на экспериментах с продуктами деления. Уровни загрязнения были определены как «легкое загрязнение» (требующее коэффициента дезактивации [DF] в 2 – 5), «среднее загрязнение» (DF = 5 – 10), и «тяжелое загрязнение» (DF > 10)⁹.

Для сильно загрязненных районов исследование показало, что «мы не смогли найти никакого практического метода для надежного достижения успешной дезактивации, за исключением полного разрушения строений и утилизации материала в лицензированном

⁴ *Manual of Protective Action Guides and Protective Actions for Nuclear Incident* (Office of Radiation Programs, U.S. EPA, 1991), Table 7-1, (<http://www.epa.gov/radiation/rert/pags.htm>).

⁵ В модели МАСС2 скорость накопления дозы без защиты рассчитывается по формуле $0,032 \text{ бэр/г} \times \text{уг(Ки/см}^2) \times \exp(-t \cdot \ln 2 / 30) \times [\exp(-t \cdot \ln 2 / 0,5) + \exp(-t \cdot \ln 2 / 88,8)]$ с t , измеряемым в годах. Период полураспада в 30 лет отражает радиоактивный распад ^{137}Cs . Второй фактор из двух экспонент отражает сток ^{137}Cs в почву – сначала быстро, а затем более медленно. Отношение дозы за второй год к дозе за первый год равно 0,71. Отношение дозы за первые три месяца к дозе за первый год равно 0,3.

⁶ *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, Vol. II. *Effects*, Annex J, "Exposures and effects of the Chernobyl accident" (U.N., 2000), para. 108, в дальнейшем цитируемое как *Источники и эффекты*.

⁷ Район в радиусе 30 км от Припяти (поселок вблизи реактора, где жили работники Чернобыльской АЭС) остается эвакуированным (2800 км² с населением 90 000 человек). Некоторые сильно загрязненные участки за пределами 30-км зоны с общим населением 3 600 человек также остаются эвакуированными. Общая площадь, загрязненная до уровня выше 50 Ки/км² оценивается в 3100 км² (*Источники и эффекты*, Приложение J, параграфы 91-93 и табл. 5).

⁸ *Site Restoration: Estimation of Attributable Costs from Plutonium-Dispersion Accidents* by David Chanin and Walter Murfin (Sandia National Laboratories, SND96-0957, 1996), p. 5-7, в дальнейшем цитируемое как *Восстановление площадки*.

⁹ Коэффициент дезактивации определяется как отношение скорости накопления дозы от внешнего гамма-излучения до дезактивации и после нее.

месте захоронения»¹⁰.

Мы предполагаем, что на границе сильно загрязненных районов должна быть «серая зона», в которой после нескольких лет радиоактивного распада загрязнение уменьшится до уровня, при котором дезактивация с $DF = 8$ сделает район снова пригодным для обитания. Однако, стоимость имущества, которая в модели MACCS2 предполагается экспоненциально уменьшающейся на 20% в год, через несколько лет станет настолько малой, что средняя остаточная стоимость имущества будет меньше расходов на дезактивацию.

Дезактивация легко и средне загрязненных областей описано в отчете Сандии как включающая следующие меры¹¹.

Легко загрязненные районы (DF 2-5). «Немедленное удаление пыли со всех внешних поверхностей строений (и улиц, тротуаров и боковых проходов), за которым следует промывка моющим раствором и водой. Внутренние помещения зданий должны быть очищены, например, повторной чисткой пылесосом и обработкой ковровых покрытий шампунем. Дерн на газонах (и любые мощеные участки, которые не могут быть адекватно дезактивированы более дешевым способом) должны быть удалены и заменены. Листва деревьев должна быть полита из шлангов так, чтобы вода после промывки не растекалась, а стволы деревьев должны быть очищены щеткой.»

Средне загрязненные районы (DF 5-10). «Покрытие крыш должно быть удалено и заменено, все материалы ландшафта, включая деревья, должны быть удалены, а мебель и личные вещи должны быть удалены из помещений.»

Опыт Чернобыля показывает, однако, что дезактивация с фактором более трех может оказаться недостижимой. В отчете ООН сообщается¹²:

Исследовалось влияние процедур дезактивации на внешнюю дозу... до и после дезактивации белорусского поселка Киров. Процедуры дезактивации включали замену дорожного покрытия, замену крыш на зданиях, и удаление почвы. Результаты ... предполагают, что дезактивация оказалась наиболее эффективной для школьников и полевых рабочих (факторы дезактивации были равны соответственно 1,5 и 1,3), но имели ограниченное воздействие на другие группы населения. Аналогичные оценки были получены в 1989 г. при дезактивации российских населенных пунктов. Отношения внешних доз, измеренные после и до дезактивации, лежали в пределах от 0,70 до 0,85 (факторы дезактивации от 1,2 до 1,4).

Тем не менее, мы предполагаем, что дезактивация с фактором до восьми будет достижимой. В наших расчетах граница между легко и средне загрязненными районами ус- танавливалась как $DF = 3$, а между средне и тяжело загрязненными – как $DF = 8$.

В табл. 2а показаны оценки (по уровням загрязнения), сделанные в отчете Сандии для расходов (на душу населения) для дезактивации, компенсации, и утилизации радиоактивных отходов в городских районах смешанного пользования¹³.

Расходы на компенсацию базируются на расходах на замену утерянной собственности и ренту на 3, 6, и 12 месяцев для перемещенных резидентов во время дезактивации легко, средне и тяжело загрязненных районов, соответственно¹⁴. Для резидентов с подлежащим уничтожению имуществом предполагалось, что имущество будет оплачено в течение года. Предполагалось, что в средне загрязненных районах будут заменены транспортные средства, мебель и бытовые приборы. В течение периода дезактивации перемещенные лица получают также деньги на «одежду, электронные приборы для развлечения, бытовую технику, и относящиеся к работе инструменты». Предполагалось, что компенсация будет выплачена коммерческим предприятиям за их полные запасы и за их

¹⁰ Восстановление площадки, стр. F-10.

¹¹ Восстановление площадки, стр. 5-9.

¹² Источники и эффекты, Приложение J, параграф 129.

¹³ Восстановление площадки, стр. F-33, используя плотность населения 1344 км^{-2} (стр. G-23) и расходы на душу населения в табл. F-4, F-5, и F-6.

¹⁴ Восстановление площадки, стр. F-7.

средние суммы, выплачиваемые служащим, и чистую прибыль соответственно, за 3, 6, и 12 месяцев для легко, средне и тяжело загрязненных районов.

Табл. 2а. Оцененные в отчете Сандии расходы на душу населения (в долларах), связанные с заражением.

Фактор дезактивации	2 - 5	5 - 10	> 10
Дезактивация	19 000	42 000	31 000
Компенсация	20 000	30 000	135 000
<i>Итого</i>	<i>39 000</i>	<i>72 000</i>	<i>166 000</i>
Утилизация отходов	14 000 – 57 000	15 000 – 60 000	32 000 – 130 000
Всего (округленно)	50 000 – 100 000	90 000 – 130 000	200 000 – 300 000

В исследовании Сандия найдено, что стоимость утилизации отходов от дезактивации составит значительную часть от полных расходов на очистку. Была рассмотрена как утилизация на площадке, так и за ее пределами. Для утилизации на площадке предполагалось, что отходы будут помещены в контейнеры, стабилизированы цементом, и помещены в траншеи с оболочкой из железобетона, закопанные на глубине 5 м под зацементированным бутовым камнем и бетонной крышкой толщиной 0,61 м. Это приводит к оценке в 318 долларов за кубометр. Эти расходы можно сократить примерно вдвое «для менее защищающей системы утилизации на площадке, которая как раз удовлетворяет текущим требованиям»¹⁵. Предполагалось, что утилизация за пределами площадки включает транспортировку в контейнерах на грузовике на 1600 км на правительственную площадку, которая может принимать трансураниевые отходы низкого уровня (напомним, что это исследование проводилось для аварии с разбросом плутония). Полученная оценка расходов составляет 666 долларов на кубометр, несколько больше половины из которых приходится на транспортировку. Показанные в табл. 2 расходы на утилизацию отходов лежат в пределах от 167 до 666 долларов за кубометр. При проведении наших собственных оценок мы используем нижнюю границу этого диапазона¹⁶.

¹⁵ *Восстановление площадки*, стр. F-24, F-27.

¹⁶ Отходы, произведенные в результате дезактивации вслед за гипотетической аварией с отработанным топливом, попадают в низшую категорию Ядерной регулятивной комиссии США для радиоактивных отходов низкого уровня, Класс А, с концентрацией ¹³⁷Cs меньше 1 Ки/м³ (NRC Regulations, 10 CFR, Part 61.55 - Waste Classification (<http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part061/>)). Инженерный корпус Армии США обговаривал контракты с для утилизации мусора Класса А с Envirocare по цене 320 долларов за кубометр в 1998 г. и 559 долларов за кубометр в 1997 г., не включая обращение и транспортировку (*The Disposition Dilemma: Controlling the Release of Solid Materials from Nuclear Regulatory Commission-Licensed Facilities*, Washington, DC: National Academy Press, 2002. р. 80, в предположении средней плотности мусора 1200 кг/м³). Однако, общее количество отходов класса А, требующих утилизации после аварии с отработанным топливом, вероятно, будет порядка 100 миллионов кубометров для выброса 3,5 МКи (один миллион затронутых лиц по 90 кубометров на каждого), что превышает годовое количество радиоактивных отходов низкого уровня, утилизируемых в настоящее время в США, примерно в тысячу раз. (В 1998 и 1999 г. утилизировалось около 80 000 кубометров радиоактивных отходов низкого уровня министерства энергетики и коммерческих предприятий, *Texas Compact Low-Level Radioactive Waste Generation Trends and Management Alternatives Study: Technical Report*, Rogers & Associates Engineering Branch URS Corporation, Salt Lake City, 2000, RAE-42774-019-5407-2, Tables 3.1 and 3.4). Поэтому следует рассмотреть другие варианты захоронения отходов. Стоимость утилизации захороняемых отходов по субтитлу С Закона о сохранении и возобновлению ресурсов составляет 90 долларов за кубометр (*The Disposition Dilemma*, р. 78), без подготовки и транспортировки отходов, и обращения с ними. Однако, проектная производительность такого захоронения, как текущая, так и прогнозируемая на 2013 г., составляет всего 1,5 миллиона тонн в год (*National Capacity Assessment Report: Capacity Planning Pursuant To CERCLA Section 104(C)(9), "Demand for Commercial Hazardous Waste Capacity from Recurrent Landfill Expected to be Generated In State (tons)," at*

Авторы отчета Сандия заявляют, что «хотя в некоторых случаях мы консервативно выбирали значения параметров, получающееся расхождение компенсировалось до некоторой неизвестной степени из-за того, что многие потенциальные расходы были не включены в наши оценки»¹⁷. некоторые из обсуждавшихся в отчете пропущенных расходов таковы:

- Если будут обнаружены ошибки или недоработки, то возможно, что некоторые работы придется переделать, или дополнить, с дополнительными расходами. Мы не пытались учесть эти возможные дополнительные расходы¹⁸.
- Административные и вспомогательные расходы при очистке атолла Энвевек примерно равнялись прямым расходам на восстановление... После аварии в Чернобыле расчеты шведского правительства для их программы аварийного отклика показали, что косвенные административные и вспомогательные расходы примерно равны стоимости прямых работ... Мы полагаем... что может оказаться разумным удвоить предоставленные здесь оценки для того, чтобы учесть косвенные расходы¹⁹.
- Дезактивация может оказаться менее эффективной по прошествии времени. Большинство экспериментов проводилось через несколько дней, или, самое большее, через несколько месяцев после выпадения²⁰.
- Возможные судебные издержки не рассматривались... Из-за отрицательного влияния задержек расходы могут возрасти даже при неудачном исходе судебных процессов²¹.
- Мы предполагали, что приобретенное правительством имущество (для восстановления) будет перепродано без потерь²².
- Оценки расходов... не включают центральных и коммерческих районов, районов с развитой промышленностью, или высотных жилых домов. Включение этих районов увеличит расходы²³.

Результаты Сандии не полностью соответствуют требованиям по вводу в программу MACCS2, которая, например, не позволяет включать расходы на дезактивацию в постоянно эвакуируемых районах. Поэтому мы сделали изменения, показанные в табл. 2b.

(<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/tsds/capacity/appajf.pdf>) (25 March 2004)). Захоронение муниципальных отходов (субтитул D) обычно обходится в 25 долларов за кубометр (*The Disposition Dilemma*, p. 78), но вероятно, что концентрация ¹³⁷Cs будет превышать на порядок величины 11 пКи/г, связанную с ожидаемой дозой менее мбэр/г для критических групп, которые обсуждались как возможные стандарты для утилизации без контроля (*The Disposition Dilemma*, pp. 119, 173). Для почвы с объемной плотностью 1,3 г/см³, удаляемой до глубины в 10 см, средняя концентрация ¹³⁷Cs будет 115 пКи/г для уровня поверхностного загрязнения в 15 Ки/км². Уровни загрязнения от других типов мусора будут выше.

¹⁷ Восстановление площадки, стр. F-1.

¹⁸ Восстановление площадки, стр. 6-3, 6-4.

¹⁹ Восстановление площадки, стр. 6-3. Однако, коэффициент в данном случае может быть не столь велик, благодаря экономии из-за масштаба.

²⁰ Восстановление площадки, стр. 5-7.

²¹ Восстановление площадки, стр. 6-4.

²² Восстановление площадки, стр. 2-5.

²³ Восстановление площадки, стр. 6-2.

Табл. 2b. Предположения по расходам на дезактивацию на душу населения (в долларах США), принятые в наших расчетах по программе MACCS2.

Фактор дезактивации	< 3	< 8	> 8 ²⁴
Дезактивация ²⁵	19 000	42 000	0 – 42 000
Компенсация		25 000 ²⁶	30 000 – 132 000 ²⁷
Перемещение ²⁸	0	3 600	3 600
Утилизация отходов ²⁹	14 000	15 000	0 – 15 000
Всего	58 000	85 600	90 600 – 135 600

ОЦЕНКИ УЩЕРБА

Наши оценки для пяти площадок и выбросов в 3,5 и 35 МКи ¹³⁷Cs показаны в табл. 3.

Экономический ущерб, усредненный по пяти площадкам для выбросов 3,5 и 35 МКи равняется, соответственно, 100 и 400 млрд. долл. Для сравнения, оценки расходов в «Ослабление опасности», при помощи модели клина в предположении однородной плотности населения 250/км², были соответственно равны 50 и 700 млрд. долл. Экономический ущерб в основном сосредоточен на расстояниях до 500 км от реактора. Плотность населения в пределах 400 км от пяти площадок в среднем равна 80/км². Это дополнительное сокращение примерно в два раза может быть связано с тем фактом, что в модели выброса MACCS2 больше доля выброса на малых расстояниях от реактора, чем в модели клина из-за меньшей вертикальной протяженности выброса на первых 200 км и соответственно большей концентрации выброса на уровне моря. Эти близкие осадения приводят к меньшему количеству смертных случаев от рака из-за постоянной эвакуации и дезактивации.

²⁴ Дезактивация с коэффициентом 8 сделает районы вблизи края этой области обитаемыми в течение периода в несколько лет до того, как обесценивание сократит стоимость имущества до значения, при котором дезактивация станет невыгодной. MACCS2 не включает расходы на дезактивацию, которые, по оценкам в *Восстановление площадки*, будут понесены в районах, в которых здания загрязнены настолько сильно, что они должны быть заброшены.

²⁵ Из *Восстановление площадки*.

²⁶ MACCS2 позволяет только одно значение для всех загрязненных районов. Поэтому мы используем среднее из значений, рассчитанных в *Восстановление площадки* для легкого и среднего загрязнения. Потеря дохода за период 4,5 месяца составит 13 500 долларов (доход в США на душу населения в 2000 г. составлял 35 000 долларов). *Statistical Abstracts of the United States: 2001*, U.S. Census Bureau, 2003, Table 646). *Восстановление площадки* включает в дополнение компенсацию для потерь деловых запасов, личного имущества и время перемещения более 90 дней.

²⁷ 30 000 долларов, если имущество может быть дезактивировано после минимального периода обесценивания. 132 000 долларов, если имущество так сильно загрязнено, что оно должно быть выброшено. В 2000 г. средняя стоимость недвижимого имущества на душу населения в США равнялась 107 000 долларов, а стоимость земли, связанной с местом жительства, на душу населения, с использованием стандартного значения MACCS2 в 20% от стоимости жилья в США в 2001 г., составляла 7 000 долларов. (*Statistical Abstracts of the United States: 2002*, U.S. Census Bureau, 2003, Tables 1 and 679). Мы добавили потерянный за шесть месяцев доход.

²⁸ 90 дней по 40 долларов в день в районах, где проектная доза без защиты для первого года превысит 2 бэр. В *Руководстве по защитным действиям* (ссылка [4], стр. E-9) приводится оценка в 26 долларов в день.

²⁹ Мы предполагаем нижнюю границу диапазона, приведенного в *Восстановление площадки*, т.е., утилизацию на площадку, конструкция которой «как раз удовлетворяет текущим требованиям».

Табл. 3. Оценки экономического ущерба (в млрд. долл.) и смертных случаев от рака.

Площадка	Выброс (МКи)	Полные расходы	Выбрасываемое имущество	Прочие потери ³⁰	Временное перемещение	Деактивация ³¹	Смерти от рака ³²
Катауба	3,5	71	10	32	0	29	3 100
	35	547	145	192	11	199	7 650
Индиан Пойнт	3,5	145	43	42	5	56	1 500
	35	461	282	85	8	86	5 600
ЛаСаль	3,5	54	2	23	1	27	2 100
	35	270	10	121	7	131	6 400
Пало Верде	3,5	11	1	5	0	5	600
	35	80	24	26	2	29	2 000
Три Майл Айленд	3,5	171	13	66	6	87	2 300
	35	568	278	134	11	144	7 000
Средние	3,5	91					1 900
	35	385					5 700

ВЛИЯНИЕ НА РАСЧЕТ СТОИМОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ

Средние по пяти площадкам расходы, включая оценку смертей от рака (каждая оценивается в 4 млн. долл.) для выбросов в 3,5 и 35 МКи составляет 100 и 370 млрд. долл. Соответствующие оценки в «Ослаблении опасности» (сноски 29 и 70) равняются 250 и 1700 млрд. долл. Затем мы сравнивали расходы на перевод отработанного топлива из бассейна в сухое хранилище с потенциальными выгодами от последующего исключения пожара отработанного топлива. Делая это, мы старались учесть предположение того, что стоимость помещения отработанного топлива в сухое хранилище в среднем будут понесены за 15 лет до вероятностного выигрыша от исключения пожара отработанного топлива³³. Корректировка стоимости аварии за дополнительные 5 лет приведет к значению в 100 – 750 млрд. долл., что сравнимо со стоимостью перевода отработанного топлива в сухое хранилище.

Однако, в значительной степени корректировка отражает предположение, что общество в будущем будет богаче, и что те же самые расходы в будущем будут составлять меньшую долю увеличившегося богатства. В данном случае более богатое общество больше потеряет от пожара отработанного топлива. Эти два эффекта работают в противоположном направлении. Тем не менее, мы не корректируем оцениваемый экономический ущерб в 100 – 400 млрд. долл. при его сравнении со стоимостью ранней частичной разгрузки бассейнов с отработанным топливом.

В «Ослаблении опасности» стоимость пожара отработанного топлива сравнивается со стоимостью помещения в сухие контейнеры всего отработанного топлива в бассейнах в возрасте более 5 лет (оцениваемого в 2010 г. 35 000 тонн). Эти расходы, по оценкам, попадают в диапазон от 3,5 до 7 млрд. долл. Мы использовали для наших оценок стоимости и эффективности значение 5 млрд. долл. Разделив эти расходы на стоимость пожара отработанного топлива в 100 – 400 млрд. долл. дает критическую вероятность для пожара отработанного топлива за 30 лет в диапазоне от 1,3 до 5 процентов. Соответствующий диапазон, рассчитанный в «Ослаблении опасности» (сноска 70) составляет 0,7 – 5 процентов. В действительности критическая вероятность

³⁰ Сильно загрязненные предметы мебели, делового инвентаря, и транспортные средства. Кроме того, обесценивание собственности, когда перед началом возможного возвращения в дополнение к $DF = 8$ потребуется радиоактивный распад.

³¹ Включая стоимость утилизации отходов от деактивации в 167 долларов за кубометр.

³² В предположении, что средний фактор уменьшения дозы равен трем из-за защиты зданиями и неровностями земли, и что одна смерть от рака приходится на популяционную дозу в 2000 бэр для облучения всего тела.

³³ В предположении, что опасения за безопасность приведут к тому, что отработанное топливо будет помещаться в сухое хранилище на 30 лет раньше, чем в противном случае.

будет несколько выше, поскольку извлечение части отработанного топлива не полностью исключит риск пожара отработанного топлива.

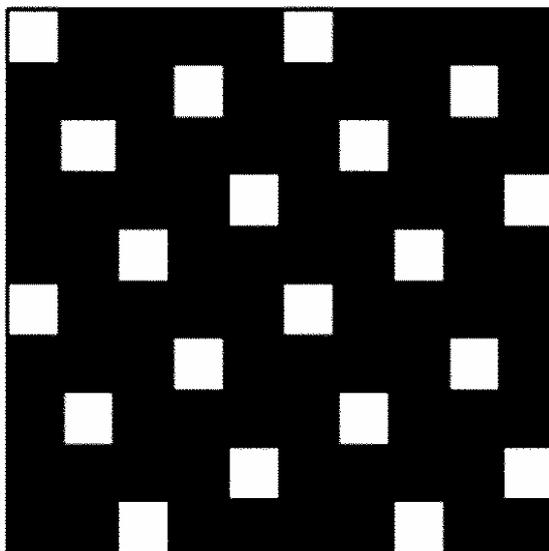


Рис.2. Удаление одной из пяти топливных сборок приведет к тому, что у каждой из топливных сборок одна сторона будет прилегать к пустому каналу решетки.

В «Ослаблении опасности» было отмечено, что удаление одной из пяти топливных сборок приведет к тому, что у каждой из оставшихся в бассейне топливных сборок одна сторона будет прилегать к пустому каналу решетки (см. рис. 2). Если последующий анализ покажет, что такая конфигурация сможет конвективно охлаждаться воздухом, то может быть извлечено только 9 000 тонн из 45 000 тонн, которые предположительно могут храниться в бассейнах для отработанного топлива в США в 2010 г., вместо 35 000 тонн. В этом случае дополнительные расходы для сухого хранения отработанного топлива уменьшатся примерно в четыре раза и так же уменьшится критическая вероятность пожара, хотя и в этом случае потребуются некоторая коррекция для того, чтобы учесть остаточную вероятность пожара. В этой конфигурации запас цезия уменьшится не очень сильно, хотя он может быть уменьшен еще в четыре раза, если будет выгружено все отработанное топливо с возрастом более пяти лет.