

ЗАПАСЫ И ПРОИЗВОДСТВО РАСЩЕПЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ, 2008 ГОД

Александр Глезер и Зиа Миан

В этой статье представлены оценки глобальных и национальных запасов высокообогащенного урана и выделенного плутония на основании *Отчета по глобальным расщепляющимся материалам на 2008 год*¹ Международной рабочей группы по расщепляющимся материалам (IPFM). Глобальные запасы высокообогащенного урана (ВОУ) оцениваются в 1670 ± 300 тонн. Они уменьшаются, поскольку Россия и Соединенные Штаты разбавляют примерно 40 тонн ВОУ в год для использования в топливе легководных энергетических реакторах. Эти объемы разбавления значительно превышают оцениваемые объемы производства ВОУ, которое, как полагают, в настоящее время ограничено производством в Пакистане для оружия и в Индии для военно-морского флота. Глобальные запасы выделенного плутония, которые полностью можно использовать для оружия, примерно составляют 500 тонн. Около половины этих запасов являются гражданскими, и они увеличиваются менее, чем на 5 тонн в год. Эти темпы значительно увеличатся, когда начнется коммерческая эксплуатация японского завода по переработке в Роккашо. Полагают, что только Индия и Пакистан, и, возможно, Израиль производят плутоний для оружия с суммарным объемом менее 60 кг в год. Соединенные Штаты и Россия объявили как избыточную для оружия или для всех военных целей значительную часть своих запасов высокообогащенного урана и плутония, произведенных для оружия. Соединенные Штаты и Россия продолжают разбавлять соответственно 210 и 500 тонн ВОУ, которые они объявили избыточными для производства низкообогащенного урана для топлива реакторов на обычной воде. Соединенные Штаты и Россия для ликвидации 34 тонн избыточного оружейного плутония, которые каждая из них обязалась утилизировать по американско-российскому соглашению 2000 года по управлению и утилизации плутония. За последние два года также можно было наблюдать планы новых гражданских обогатительных заводов и прогресс новых заводов по переработке. В течение этого времени были выключены некоторые бывшие производственные установки, другие были демонтированы, и в некоторых случаях ключевые компоненты были уничтожены.

Авторы работают в Программе по науке и всеобщей безопасности, Школа имени Вудро Вильсона по общественным и международным отношениям, Принстонский университет, Принстон, Нью Джерси 08544.

Статья получена 14 октября 2008 года, принята к публикации 21 октября 2008 года.

Адрес для корреспонденции: Alexander Glaser, Program on Science and Global Security, Woodrow Wilson School of Public and International Affairs, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA.

Адрес электронной почты: aglaser@princeton.edu

ВВЕДЕНИЕ

Расщепляющиеся материалы представляют собой материалы, которые могут поддерживать взрывную цепную реакцию деления. Они являются существенными для всех ядерных взрывных устройств, от оружия деления первого поколения до передового термоядерного оружия. Наиболее часто используемыми расщепляющимися материалами являются уран, в высокой степени обогащенный изотопом уран-235, и плутоний.

Содержание урана-235 в природном уране составляет всего лишь 0,7%. Остальное приходится на почти не участвующий в цепной реакции уран-238. Хотя бесконечная масса урана с обогащением всего лишь в 6% может в принципе быструю цепную реакцию деления, уран, обогащенный до более, чем 20% урана-235, определяемый как «высокообогащенный уран», обычно принимается как необходимый для создания оружия практических размеров. Поэтому МАГАТЭ рассматривает высокообогащенный уран (ВОУ) как оружейный материал «прямого использования». В реальном оружии используется более высокое обогащение, что отражается в определении материала «оружейного качества» как обогащенного ураном-235

до более, чем 90%. В бомбе, сброшенной на Хиросиму, содержалось около 60 кг урана со средним обогащением в 80%.

Плутоний производится в ядерном реакторе, когда уран-238 поглощает нейтрон, образуя уран-239, который впоследствии распадается до плутония-239 (Pu-239) через промежуточный короткоживущий изотоп нептуния-239. Чем дольше атом Pu-239 остается в реакторе после того, как он был создан, тем больше вероятность того, что он поглотит второй нейтрон и либо расщепится, либо поглотит второй нейтрон и превратится в Pu-240, или поглотит третий и четвертый нейтрон и превратится в Pu-241 или Pu-242. Поэтому плутоний получается в виде различных изотопных смесей. Согласно Министерству энергетики США, «практически любая комбинация изотопов плутония ... может быть использована для того, чтобы изготовить ядерное оружие ... плутоний реакторного качества является пригодным для изготовления оружия, как не имеющей опыта страной, стремящейся получить ядерное оружие, так и опытными странами, имеющими ядерное оружие»². МАГАТЭ рассматривает в качестве материала непосредственного применения любой плутоний, в котором содержится менее 80% плутония-238. В бомбе, которая разрушила Нагасаки, содержалось 6 кг плутония.

МАГАТЭ определяет как «существенное количество» расщепляющегося материала количество, требующееся для изготовления имплозивной бомбы первого поколения, аналогичной примененной в Нагасаки, включая производственные потери. Существенные количества составляют 25 кг U-235, содержащегося в ВОУ, и 8 кг для плутония.

Сегодня ядерным оружием обладают девять государств. Ими являются, в историческом порядке, Соединенные Штаты, Россия, Великобритания, Франция, Китай, Израиль, Индия, Пакистан, и Северная Корея. Оценки их текущих арсеналов ядерного оружия показаны в Таблице 1. Максимальные арсеналы Соединенных Штатов и России составляли приблизительно 30 000 для Соединенных Штатов (около 1965 года) и 40 000 для России (около 1985 года). Все ядерные державы, за исключением Индии, Пакистана, и, возможно, Израиля, остановили производство высокообогащенного урана и плутония для оружия.

В этой статье приводится сводка оценок глобальных и национальных запасов ВОУ и плутония Международной рабочей группы по расщепляющимся материалам (IPFM). Здесь рассматривается состояние заводов по обогащению и переработке, действующих в настоящее время, строящихся, или планируемых, и обсуждаются последние действия по выключению, демонтажу и уничтожению бывших производственных установок.

ВЫСОКООБОГАЩЕННЫЙ УРАН

Только Великобритания и Соединенные Штаты сообщили общественности общие размеры своих запасов ВОУ. Общее производство ВОУ в США составило 1 045 тонн со средней степенью обогащения 82%³. Великобритания сообщила, что на март 2002 года ее запасы ВОУ составили 21,86 тонны⁴. Оценки остающихся национальных запасов обычно весьма неопределенны. Оцениваемые национальные запасы высокообогащенного урана на середину 2008 года показаны на рис. 1. Согласно этим оценкам, глобальный запас составляет $1\,670 \pm 300$ тонн. Более 99% глобального запаса ВОУ принадлежит ядерным державам. Около 10 тонн ВОУ находится в неядерных странах под гарантиями МАГАТЭ.

Основная неопределенность в оценке полного глобального запаса возникает из-за отсутствия информации о российских запасах. Можно оценить рост российского запаса ВОУ, используя значения установленных мощностей за вычетом постепенного увеличения использования этих мощностей для производства низкообогащенного урана (НОУ) для топлива энергетических реакторов. Это позволяет предполагать, что оцениваемое производство ВОУ в России достигало максимума около 50 000 кг/год в середине 1970-х годов (см. рис. 2). На основании показанного здесь условного сценария, общее производство ВОУ в России составляло примерно 1 300 – 1 400 тонн (обогащенного до 90%)⁵.

Россия, Соединенные Штаты и Великобритания используют ВОУ в топливе реакторов двигательных установок своих подводных лодок и (в случае Соединенных Штатов) авианосцев. Франция для топлива своих подводных лодок перешла с ВОУ на НОУ.

ВОУ используется также в топливе для военных и гражданских исследовательских реакторов и российского флота из семи атомных ледоколов. Соединенные Штаты и Советский Союз/Россия использовали, а также поставляли ВОУ в многие страны для гражданских исследовательских реакторов и производства медицинских изотопов в части своих программ

Таблица 1. Оценки размеров арсеналов ядерного оружия на 2008 год¹.

Страна	Ядерные боеголовки
Соединенные Штаты	Около 10 000*
Россия	Около 10 000*
Франция	Менее 300
Великобритания	185
Китай	Около 240
Израиль	100 – 200
Пакистан	Около 60
Индия	60 – 70
Северная Корея	Менее 5

* Примечание: 5 000 развернутых боеголовок, плюс 5 000 боеголовок, ожидающих демонтажа. Большая неопределенность из-за количества боеголовок, ожидающих демонтажа. Смотрите: R. S. Norris and H. M. Kristensen, "U.S. Nuclear Forces, 2008," *Bulletin of the Atomic Scientists* (March/April 2008): 50-58; R. S. Norris and H. M. Kristensen, "Nuclear Notebook: Russian Nuclear Forces, 2008," *Bulletin of Atomic Scientists* (May/June 2008): 54-57, 62; R. S. Norris and H. M. Kristensen, "Nuclear Notebook: Chinese Nuclear Forces, 2008," *Bulletin of Atomic Scientists* (July/August 2008): 42-44; R. S. Norris and H. M. Kristensen, "French Nuclear Forces, 2008," *Bulletin of Atomic Scientists* (September/October 2008): 56-58; R. S. Norris and H. M. Kristensen, "Pakistan's Nuclear Forces, 2007," *Bulletin of Atomic Scientists* (May/June 2007): 71-73; R. S. Norris and H. M. Kristensen, "India's Nuclear Forces, 2007," *Bulletin of Atomic Scientists* (July/August 2007): 74-78; S. N. Kile, V. Fedchenko, and H. M. Kristensen, "World Nuclear Forces, 2008," Appendix 8A in SIPRI Yearbook 2008, Oxford University Press on behalf of Stockholm International Peace Research Institute, 2008. Оценка для Северной Кореи основана на объявленной декларации обладания 37 кг оружейного плутония, достаточными для менее, чем 10 ядерных боеприпасов. Glenn Kessler, "Message to U.S. Preceded Nuclear Declaration by North Korea," *Washington Post* 2 July 2008.

В 1993 году Россия заключила контракт, по которому 500 тонн урана, обогащенного до 90%, из оставшихся с времен холодной войны боеголовок, будут разбавлены до 4 – 5% U-235, и проданы Соединенным Штатам для использования в топливе энергетических реакторов. На июнь 2008 года Россия уничтожила 337 тонн своего ВОУ оружейного качества⁶. Сделка будет завершена в 2013 году. В 1994 году Соединенные Штаты аналогично объявили 174 тонны своего оружейного ВОУ избыточными, и начали разбавлять большую их часть до низкого обогащения для использования в топливе энергетических реакторов США. В конце 2005 года США объявили избыточными для оружейных целей дополнительные 200 тонн ВОУ. Однако, только 52 тонны этого материала будут разбавлены до низкообогащенного урана. Из оставшейся части 128 тонн урана оружейного качества будут зарезервированы для топлива военно-морских реакторов США и Великобритании, и 20 тонн для космических реакторов и исследовательских реакторов. На середину 2008 года Соединенные Штаты уничтожили около 96 тонн из общего количества в 210 тонн высокообогащенного урана, предназначенного для разбавления⁷. Однако, лишь небольшая часть, если таковая вообще имеется, этого урана является ураном оружейного качества. На рис. 3 показано суммарное количество избыточного ВОУ, разбавленного Россией в соответствии с договоренностью по ВОУ, и Соединенными Штатами.

Израиль мог тайно получить около 100 кг ВОУ оружейного качества от Соединенных Штатов до 1965 года. Было проведено несколько секретных расследований этого случая. В октябре 2007 года бывший сотрудник Конгресса США Генри Майерс написал, что «старшие должностные лица правительства США в конце 1960-х годов пришли к выводу, что достаточные для изготовления ядерного оружия количества ВОУ вероятно, были отправлены из корпорации ядерных материалов и оборудования (NUMEC) в Израиль»⁸. Виктор Гилински, бывший руководитель Ядерной регулятивной комиссии США, раскрыл, что «ЦРУ полагает, что ядерная взрывчатка для первых нескольких бомб Израиля, всего примерно 100 кг урана оружейного качества, была получена из материала, пропавшего на заводе ядерного топлива

для военно-морских реакторов США»⁹. Кроме того, Израиль мог производить ограниченные количества обогащенного урана, но информация об этой программе весьма ограничена¹⁰.

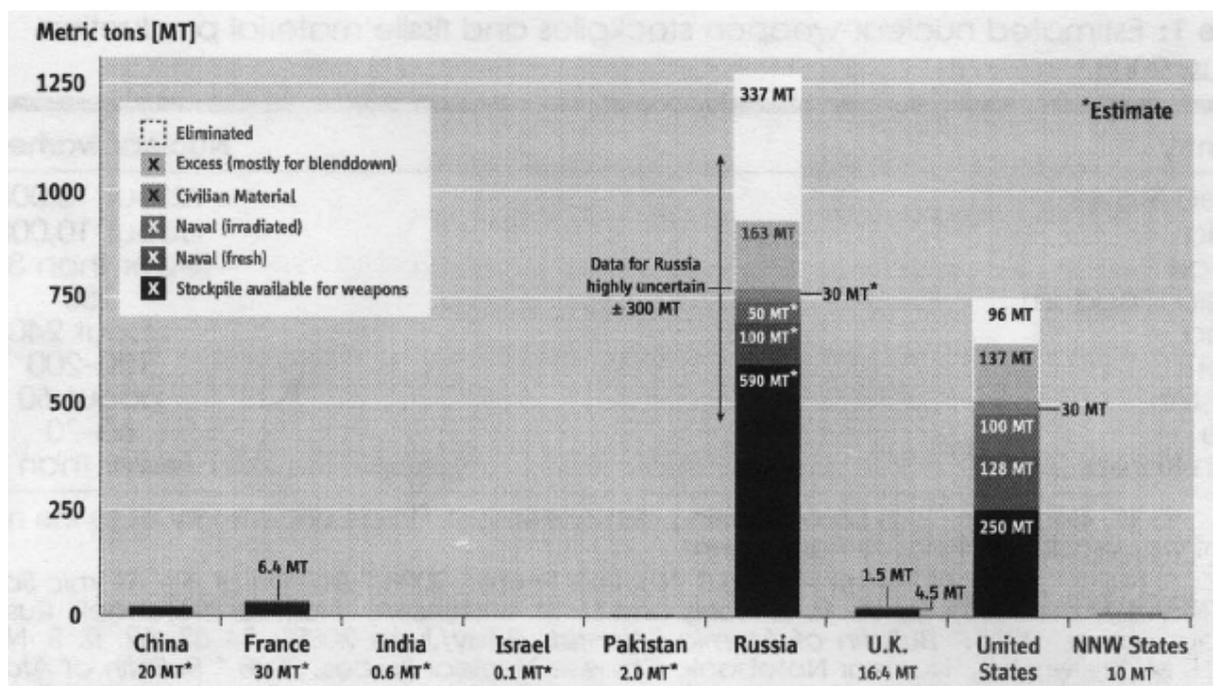


Рис. 1: Национальные запасы высокообогащенного урана (в метрических тоннах (MT)) на середину 2008 года. Количества для Великобритании и Соединенных Штатов базируются на официальной информации. Цифры со звездочкой представляют неправительственные оценки, нередко с большими неопределенностями. Количество избыточного ВОУ для России и Соединенных Штатов дано на июнь 2008 года. ВОУ в неядерных странах находится под гарантиями МАГАТЭ. Данные для России весьма неопределенны. По вертикальной оси отложена величина запасов в метрических тоннах. На горизонтальной оси указаны соответствующие страны (слева направо): 1 – Китай; 2 – Франция; 3 – Индия; 4 – Израиль; 5 – Пакистан; 6 – Россия; 7 – Великобритания; 8 – США; 9 – неядерные страны. Легенда на рисунке (сверху вниз): 1 – уничтоженный; 2 – избыточный (в основном для разбавления); 3 – гражданский материал; 4 – военно-морской (облученный); 5 – военно-морской (свежий); 6 – запасы, доступные для оружия.

Сегодня Пакистан, может быть, является единственной страной, производящей ВОУ для оружия. Он, как полагают, впервые достиг способности производить значительные количества ВОУ в начале 1980-х годов, и наращивал свои мощности по обогащению, используя центрифуги Р-2, до 1990 года¹¹. Пакистан продолжает разрабатывать более мощные центрифуги Р-3 и Р-4. Разделительная мощность этих машин, по оценкам, соответственно больше, чем у Р-2, в два и четыре раза¹². Считают, что Пакистан к началу 2008 года произвел 1,6 – 2,8 тонн ВОУ¹³. Здесь используется средняя оценка текущего запаса ВОУ в Пакистане в 2 тонны.

Тем не менее, мощности по производству ВОУ в Пакистане ограничены небольшой добычей природного урана в Пакистане (в настоящее время около 40 тонн в год) и необходимостью загрузки топлива в реактор для производства плутония в Хушабе, для которой требуется около 13 тонн в год. Ограничение природным ураном станет еще более существенным, когда в строй войдут второй и третий реактор в Хушабе. Тогда три реактора потребуют практически весь природный уран, который добывается в Пакистане.

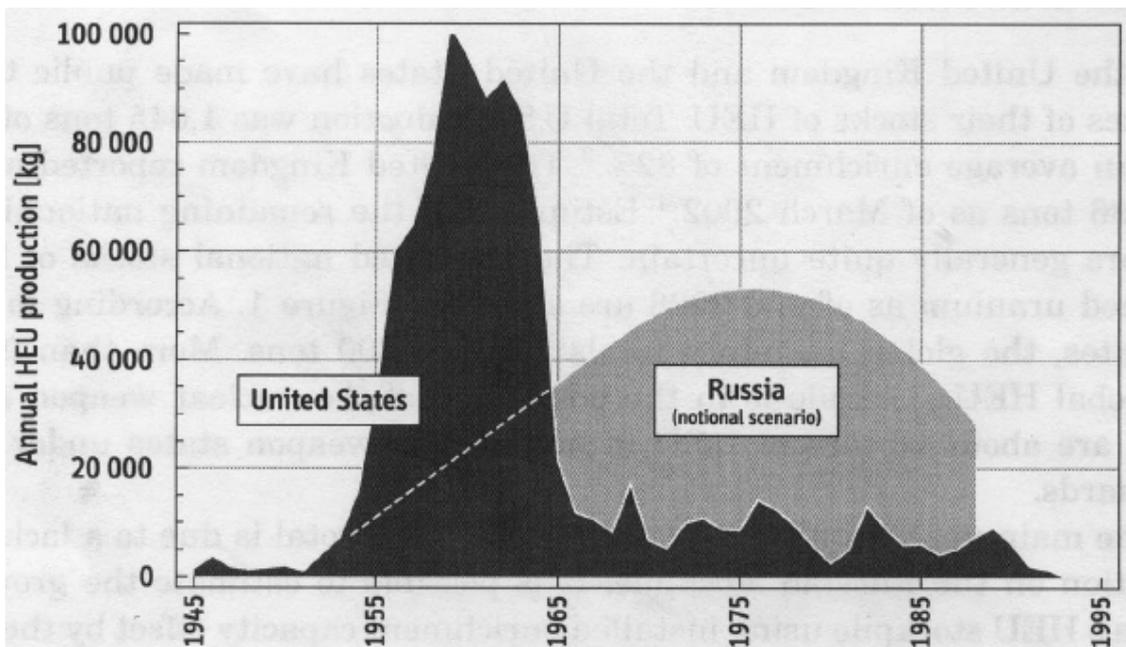


Рис. 2: Исторические объемы производства в Соединенных Штатах и России (в килограммах за год). Данные по США базируются на декларации 2001 года, выпущенной в 2006 году (*Высокообогащенный уран: ударный баланс. Исторический отчет о деятельности по производству, приобретению, и утилизации высокообогащенного урана в Соединенных Штатах с 1945 года по 30 сентября 1996 года*, Министерство энергетики США, январь 2001 года (выпущен для общественности в 2006 году), http://www.fissilematerials.org/ipfm/site_down/doe01.pdf, табл. 5 - 1). По оси Y отложена величина годового производства ВОУ в килограммах. На оси X указаны годы. Надписи на рисунке (слева направо): 1 – Соединенные Штаты; 2 – Россия (условный сценарий).

Использование ВОУ для военно-морского флота

Франция, Россия, Великобритания и Соединенные Штаты используют ВОУ для топлива реакторов двигательных установок подводных лодок и надводных кораблей, а Индия готовится сделать то же самое. Франция почти завершила переход на топливо с НОУ для своего атомного флота. Эта оценка базируется на предположении, что Китай использует в своем атомном флоте только низкообогащенное топливо.

К моменту окончания холодной войны как Советский Союз, так и Соединенные Штаты, ежегодно использовали для этой цели около двух тонн ВОУ каждая (см. рис. 4)¹⁴. Сегодня Россия использует около одной тонны (не весь уран оружейного качества), а Соединенные Штаты используют две тонны урана оружейного качества в год. На российский атомный ледокольный флот приходится значительная часть потребления российского ВОУ. Россия также использует ВОУ для топлива реакторов для производства плутония и трития.

Будущие уровни использования ВОУ для двигательных установок военно-морского флота является весьма неопределенным. Потребность должна будет уменьшиться, когда Россия прекратит использование ВОУ для своих атомных подводных лодок (как это предполагается в прогнозе на рис. 4).

Представляется, что Соединенные Штаты продолжают поддерживать свою приверженность к ядерным двигательным установкам авианосцев и подводных лодок, и, возможно, расширят ее, включив атомные крейсера. 128 тонн ВОУ, которые США выделили для двигательных установок военно-морских кораблей, будут достаточны для снабжения топливом их надводных кораблей и подводных лодок в течение 40 – 60 лет. В 2008 году Сенат США потребовал от военно-морского флота исследовать возможность использовать топливо с НОУ для будущих кораблей с атомными энергетическими установками¹⁵.

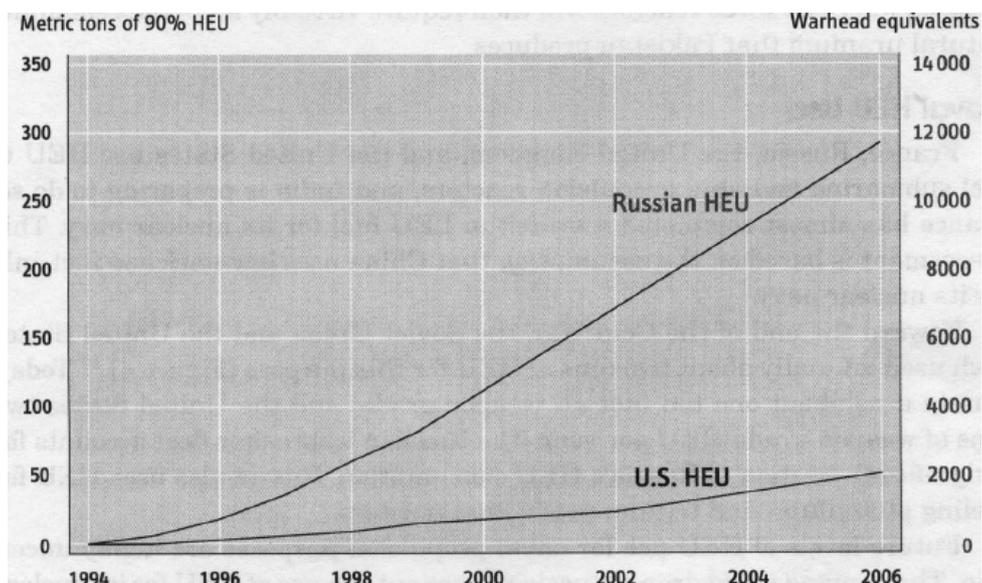


Рис. 3: Суммарное количество ВОУ, разбавленное Россией и Соединенными Штатами в 1994 – 2006 годах. На левой вертикальной оси показано количество ВОУ в метрических тоннах (МТ), на правой вертикальной оси показано эквивалентное количество боеголовок, и на горизонтальной оси отмечены годы. Надписи на рисунке (сверху вниз): 1 – ВОУ из России; 2 – ВОУ из США.

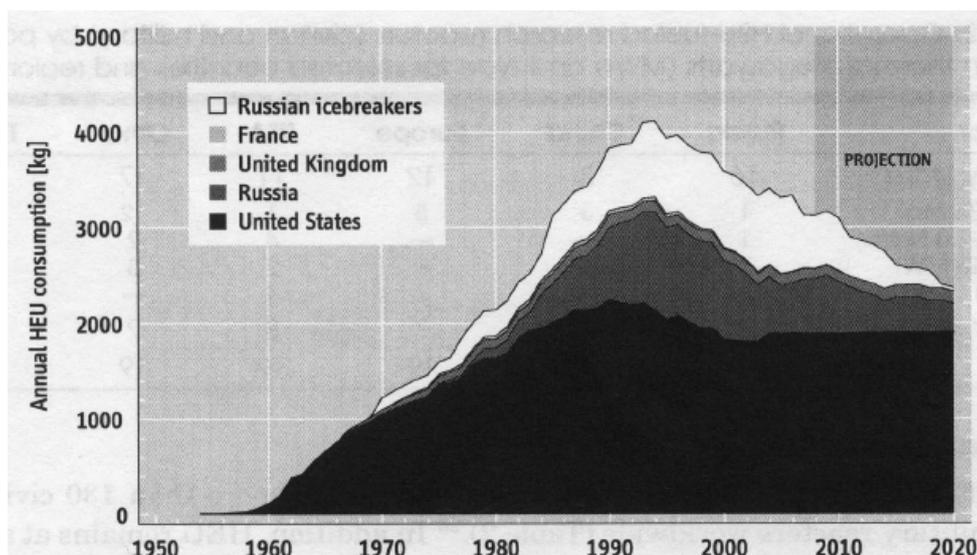


Рис. 4: Оцениваемое ежегодное потребление ВОУ военными кораблями¹⁴. Период от 2010 до 2020 года прогнозируется. На вертикальной оси отложено ежегодное потребление ВОУ в килограммах. На горизонтальной оси показаны годы. Легенда на рисунке (сверху вниз): 1 – российские ледоколы; 2 – Франция; 3 – Великобритания; 4 – Россия; 5 – Соединенные Штаты.

В 1998 году Великобритания объявила запасы военного ВОУ в 21,9 тонны¹⁶. Согласно докладу правительства Великобритании 2002 года этот запас включал 3,9 тонны ВОУ в 51 отработанной активной зоне реакторов в бассейновом хранилище на британском комплексе переработки в Селлафилд¹⁷. На основании этой информации можно оценить, что с 1998 года было расщеплено около 1 000 кг U-235 и что на 2008 год количество ВОУ в отработанных активных зонах реакторов подводных лодок составляет 4,5 тонны.

Индия производит ВОУ для топлива своих планируемых атомных подводных лодок с баллистическими ракетами проекта «Корабль передовой технологии». Строительство корабля близко к завершению, и реактор был установлен в корпусе подводной лодки в конце

2007 года, а ходовые испытания планируется начать в начале 2009 года¹⁸. В конце 2007 года Индии надо было изготовить по крайней мере 400 кг ВОУ (обогащенного до 45% урана-235) для того, чтобы поставить топливо для наземного прототипа реактора и для активной зоны первой подводной лодки¹⁹. Сообщения позволяют предположить, что Индия к 2015 году намеревается развернуть три атомных подводных лодки, каждая из которых будет оснащена 12 баллистическими ракетами²⁰. Это потребует производства дополнительных 400 кг ВОУ в течение следующих пяти или шести лет. Для того, чтобы достичь этой цели, Индии потребуются большая мощность обогащения урана²¹. Индия приобрела материалы для строительства дополнительных центрифуг²².

Гражданское использование ВОУ

Сегодня ВОУ используется как топливо для исследовательских реакторов во всем мире более чем в 130 гражданских и военных исследовательских реакторах (см. табл. 2)²³. Кроме того, ВОУ остается на площадках многих выключенных, но еще не выведенных из эксплуатации реакторов. Вместе взятые, глобальные запасы реакторного топлива с ВОУ составляют, весьма приблизительно, 100 метрических тонн, широко распространенных по всему миру²⁴. Эти реакторы представляют собой наследие от конкурирующих американской и советской программ «Атомы для мира» 1950-х и 1960-х годов.

Начиная с 1978 года, международные усилия были направлены на преобразование гражданских исследовательских реакторов с топливом из ВОУ на низкообогащенное топливо по программе уменьшения обогащения в исследовательских и испытательных реакторах (RERTR). Почти во всех реакторах, разработанных после этого времени, используется топливо с НОУ²⁵. К концу 2007 года по программе уменьшения обогащения в исследовательских и испытательных реакторах (RERTR) было преобразовано, или частично преобразовано 56 исследовательских реакторов. Оставшиеся исследовательские реакторы во всем мире потребляют около 800 кг ВОУ в год – значительное уменьшение по сравнению с более, чем 1 400 кг в начале 1980-х годов (см. рис. 5)²⁶. Однако, большая часть этого сокращения связана с выключением примерно 110 больше не требующихся исследовательских реакторов с топливом из ВОУ, а не с переводом реакторов на низкообогащенное топливо.

В 2004 году Министерство энергетики США откликнулось на опасения Конгресса в отношении медленного продвижения программ отказа от ВОУ, создав Инициативу уменьшения глобальной угрозы (GTRI), в которой объединены его усилия по преобразованию реакторов и возврату топлива с ВОУ. На рис. 5 показано, как ежегодная потребность в ВОУ может снизиться до очень малых уровней в 2020 году, если эта программа достигнет своих амбициозных целей²⁷. Недавно Россия согласилась исследовать преобразование шести из своих исследовательских реакторов²⁸. Однако, критические сборки и импульсные реакторы, содержащие огромные количества слегка облученного урана, до сих пор не были формально охвачены никакими из этих усилий по отказу от ВОУ.

Таблица 2. Действующие исследовательские реакторы с топливом из ВОУ (военные и гражданские), сгруппированные по тепловой мощности (МВт) и типу для выбранных стран и регионов²³.

Реактор	Россия	Китай	Европа	США	Прочие	ВСЕГО
Стационарный	16	3	12	11	17	59
< 0,25 МВт	1	3	5	1	12	22
0,25-2,0 МВт	1	-	-	4	2	7
2,1-10 МВт	7	-	-	2	3	12
> 10 МВт	7	-	7	4	-	18
Импульсный/ Критический	54	1	7	8	2	72
Всего	70	4	19	19	19	131

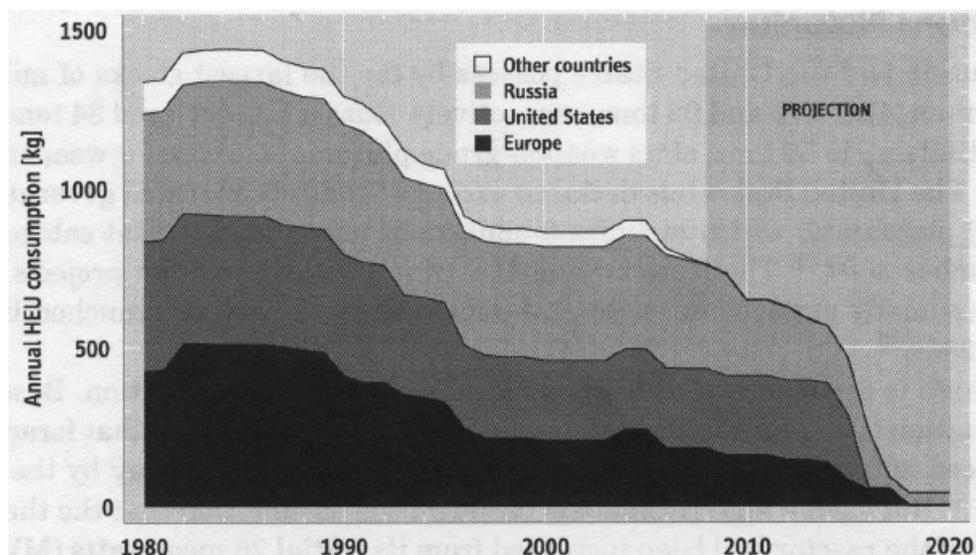


Рис. 5: Оценка общего ежегодного использования ВОУ в исследовательских реакторах (после 2010 года - прогноз). На вертикальной оси отложено ежегодное потребление ВОУ (в килограммах). На горизонтальной оси показаны годы. Легенда на рисунке (сверху вниз): 1 – прочие страны; 2 – Россия; 3 – Соединенные Штаты; 4 – Европа.

ВЫДЕЛЕННЫЙ ПЛУТОНИЙ

Глобальные запасы выделенного плутония составляют примерно 500 тонн. Они примерно поровну разделяются между гражданскими и военными запасами, включая материал, который объявлен избыточным, но все еще не утилизирован. Выделенный плутоний большей частью имеется у ядерных держав, но Япония и Германия также имеют значительные запасы. Сводка данных приведена на рис. 6.

Оружейный плутоний

Россия и Соединенные Штаты владеют в настоящее время самыми большими запасами военного плутония, в 120 – 170 и 92 тонны, соответственно. Россия объявила 34 тонны, а потенциально и до 50 тонн, плутония избыточными для оружейных целей. Соединенные Штаты объявили избыточными 54 тонны принадлежащего правительству выделенного плутония, которые включают дополнительные 9 тонн, добавленные в эту категорию в сентябре 2007 года²⁹. Российские и американские проекты утилизации плутония подверглись многочисленным изменениям планов и задержкам с тех пор, как они были начаты в середине 1990-х годов³⁰.

В отношении производства плутония в Израиле имеется большая неопределенность. На основании информации от Мордехая Вануну Фрэнк Барнеби оценил, что уже в середине 1980-х годов Израиль произвел 400 – 800 кг плутония на своем реакторе в Димоне³¹. Но такая высокая оценка основывается на предположении, что тепловая мощность реактора была увеличена с первоначальной величины в 26 МВт сначала до 70 МВт, а в конце концов до 150 – 250 МВт.

Если уровень мощности реактора в Димоне никогда не превышал 70 МВт, что эквивалентно годовому производству плутония в 14 – 17 кг/год³², то в середине 1980-х годов запасы выделенного плутония в Израиле были бы в диапазоне 280 – 340 кг. К сегодняшнему дню реактор мог бы произвести 560 – 680 кг. Предполагая, что на одну боеголовку требуется 4 кг плутония, то запасы в 600 кг были бы эквивалентны арсеналу в 150 боеголовок. Если сегодня реактор в Димоне работает только для производства трития, Израиль может перерабатывать свое отработанное топливо и выделять плутоний, но не использовать его для изготовления оружия.

Индия продолжает производить плутоний оружейного качества для оружия на двух своих производственных реакторах, *Кирус* и *Дхрува*, в количестве примерно 30 кг в год. Она выделяет гораздо больше плутония реакторного качества, но пригодного для изготовления ору-

зия, из отработанного топлива не находящегося под гарантиями энергетических реакторов с тяжелой водой под давлением (PHWR). На 2008 год она могла выделить примерно 6,4 тонны этого плутония из энергетических реакторов³³. Часть этого плутония предназначена для топлива прототипа реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR), завершение которого ожидается в 2010 году. Реактор-размножитель на быстрых нейтронах (PFBR) будет потреблять плутоний реакторного качества, но, делая это, он может производить более 140 кг плутония оружейного качества в год в зоне воспроизводства из природного урана, окружающей активную зону³⁴.

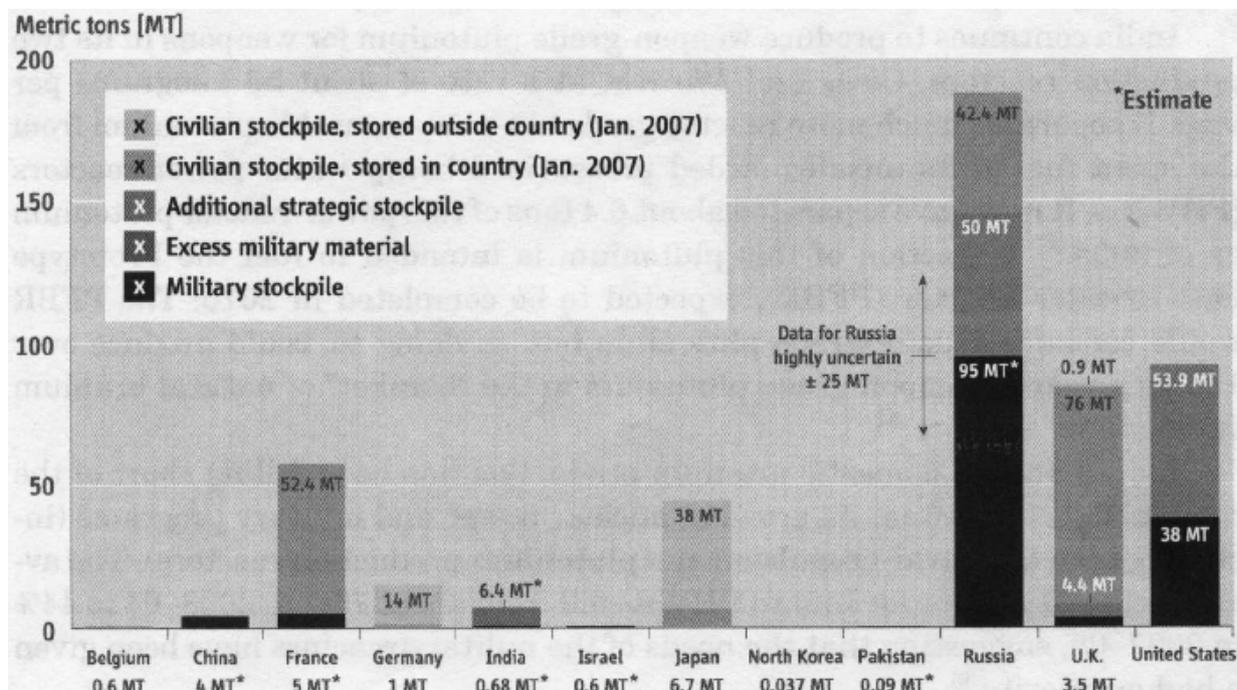


Рис. 6: Национальные запасы выделенного плутония (в метрических тоннах (MT)). Гражданские запасы относятся к январю 2007 года и базируются на последних декларациях INRCFC/549 (там, где они доступны, и за исключением Германии). Гражданские запасы перечислены по владению, а не по текущему местоположению. Индийский плутоний, выделенный из не находящегося под гарантиями отработанного топлива реактора с тяжелой водой под давлением (PHWR) классифицируется как дополнительный стратегический запас. Данные для России весьма неопределенны. По вертикальной оси отложена величина запасов в метрических тоннах. На горизонтальной оси указаны соответствующие страны (слева направо): 1 – Бельгия; 2 – Китай; 3 – Франция; 4 – Германия; 5 – Индия; 6 – Израиль; 7 – Япония; 8 – Северная Корея; 9 – Пакистан; 10 – Россия; 11 - Великобритания; 12 - США. Легенда на рисунке (сверху вниз): 1 – гражданские запасы, хранящиеся за пределами страны (январь 2007 года); 2 – гражданские запасы, хранящиеся в стране (январь 2007 года); 3 – дополнительные стратегические запасы; 4 – избыточный военный материал; 5 – военные запасы.

Ежегодная добыча урана внутри Индии не достигала суммарной потребности своих растущих программ атомной энергетики и военных программ, включающих реакторы для производства плутония и реакторы двигательных установок для военно-морского флота. Средний фактор загрузки энергетических реакторов с тяжелой водой под давлением (PHWR) уменьшился с примерно 75% в 2003-2004 годах до 44% в 2007-2008 годах, что позволяет предположить, что потребностям военных реакторов стал придаваться более высокий приоритет³⁵.

Пакистан продолжает производить почти 12 кг плутония для оружия в год на своем производственном реакторе в Хушабе³⁶. Представляется, что на этой площадке в 2001 и 2005 годах соответственно были начаты работы по двум дополнительным реакторам. Сообщают, что вблизи Чашмы был построен новый перерабатывающий завод³⁷. Для строительства первого реактора по производству плутония в Пакистане понадобилось около десяти лет. Если второй и третий реактор будут строиться так же долго, то можно ожидать, что они нач-

нут работать в период 2011 – 2014 годов. Как уже отмечалось, при работе на полной мощности для топлива трех производственных реакторов понадобятся почти все 40 тонн урана в год, которые производятся Пакистаном в настоящее время.

Сообщалось, что в июне 2008 года Северная Корея объявила, что ее запасы плутония составляют 37 кг³⁸. Правительство США и независимые аналитики ранее оценивали, что запасы плутония в Северной Корее составляют 20 – 50 кг³⁹.

Гражданский плутоний

Гражданские запасы выделенного плутония непрерывно возрастают в течение нескольких десятилетий. С 1996 года, когда все страны с запасами выделенного гражданского плутония, за исключением Индии, согласились ежегодно сообщать о своих запасах гражданского плутония в МАГАТЭ, до 2007 года глобальные запасы увеличились со 160 тонн до 240 тонн, не включая плутония, который был объявлен избыточным для использования в оружии Россией и Соединенными Штатами.

Более 200 тонн мировых запасов выделенного гражданского плутония, или 80% от всех запасов, хранятся на четырех площадках в Европе и России. Это французские площадки по переработке и изготовлению топлива в Ла Хаге и Маркуле, британская площадка в Селлафилде, и российское предприятие «Маяк».

Японский перерабатывающий завод в Роккашо, активные испытания которого начались в 2006 году, продолжает сталкиваться с проблемами, и вряд ли начнет коммерческую эксплуатацию в 2008 году. Активные испытания должны были закончиться в феврале 2008 года, но они были продлены до июля 2008 года, и еще раз продлены до ноября 2008 года⁴⁰. Тем не менее, в ходе испытаний на предприятии было выделено 2,7 тонны плутония, который хранится перемешанным с равным количеством урана⁴¹.

Великобритания начала переработку в 1952 году для выделения плутония для оружия⁴². К концу 2007 года Великобритания также выделила более 100 тонн гражданского плутония из отработанного топлива отечественных и зарубежных реакторов. Если существующие контракты будут выполнены и коммерческие операции закончатся к 2020 году, то это количество увеличится до 133 тонн. Эта деятельность создала на площадке Селлафилд серьезную проблему с загрязнением окружающей среды и ее очисткой, и оценка требуемых расходов на очистку в настоящее время составляет 92 миллиарда долларов⁴³. Плутоний из иностранного отработанного топлива, или эквивалентное количество британского плутония, будет возвращен иностранным клиентам в виде топлива со смешанными оксидами (плутония и урана, или MOX), но Великобритания все еще не определила стратегию для утилизации примерно 100 тонн плутония, который был выделен из отечественного отработанного топлива⁴⁴.

Во Франции переработка для оружия началась в 1958 году и закончилась в 1993 году⁴⁵. С тех пор в ней ведется гражданская программа для отечественных и зарубежных клиентов. Франция накопила более 80 тонн выделенного плутония, 30 тонн из которого принадлежит иностранным клиентам. Почти все иностранное отработанное топливо по контрактам было переработано, и были подписаны только небольшие новые контракты. Экономическое бремя переработки вызывает все большие опасения у французских электрических компаний. Как и в Великобритании, переработка вызвала большие проблемы с загрязнением и очисткой окружающей среды.

Китай создает комплекс для гражданского плутония. Его долго строившийся опытный перерабатывающий завод на площадке Юменжен в провинции Ганьсу с проектной производительностью в 50 тонн в год, как сообщают, был построен и проходит предпусковые испытания⁴⁶. Китайская национальная ядерная корпорация также согласовала с французской компанией АРЕВА проведение исследования по возможности строительства большого коммерческого комплекса установок по переработке и изготовления MOX-топлива в Китае⁴⁷.

СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВО ВСЕМ МИРЕ

Первые заводы по обогащению урана были построены для производства ВОУ и первые реакторы были построены для производства плутония – и то, и другое для оружия. Сегодня

гражданский ядерный сектор намного превосходит военный ядерный сектор, как по количеству предприятий топливного цикла, так и по производственным мощностям расщепляющихся материалов. В настоящее время имеется 22 обогатительных и 18 перерабатывающих предприятий, расположенных в 13 странах, исключая исследовательские и опытные установки. Семь обогатительных и перерабатывающих предприятий в ядерных державах находятся под международными гарантиями. В настоящее время имеются 15 предприятий, которые не предлагались для международных гарантий. В табл. 3 и 4 соответственно показано состояние известных заводов обогащения урана и перерабатывающих заводов во всем мире.

Таблица 3. Крупные обогатительные предприятия, действующие, строящиеся, и планируемые, как это перечислено в информационной системе МАГАТЭ по ядерному топливному циклу, если только не указано обратное. Производительность дается в единицах разделительной работы (SWU) за год. Для производства одного килограмма урана оружейного качества (90% U-235) требуется около 200 SWU, при содержании U-235 в отходах в 0,3%.

Страна	Название/Расположение	Тип	Статус	Процесс	Мощность (1000 ЕРР/год)
Бразилия	Резенде Энричмент	Гражданский	Строится	Центрифуги	120
Китай	Ланчжоу 2	Гражданский	Строится	Центрифуги	500
	Обогатительный завод Шаанкси	Гражданский	Работает	Центрифуги	500
Франция	Евродиф (Жорж Бессе)	Гражданский	Работает	Диффузия	10800
	Жорж Бессе II	Гражданский	Планируется	Центрифуги	7500
Германия	Уренко Германия ^a	Гражданский	Работает	Центрифуги	1800 (4500)
Индия	Раттехалли ^b	Военный	Работает	Центрифуги	4-10
Иран	Натанз ^c	Гражданский	Строится	Центрифуги	100-250
Япония	Обогатительный завод Роккашо	Гражданский	Работает	Центрифуги	1050
Нидерланды	Уренко Нидерланды ^a	Гражданский	Работает	Центрифуги	2500 (3500)
Пакистан	Кахута ^b	Военный	Работает	Центрифуги	15 – 30
	Чак Джжурма, Файзалабад	Гражданский	Планируется	Центрифуги	150
Россия ^d	Ангарск	Гражданский	Работает	Центрифуги	1600
	Новоуральск (Свердловск-44)	Гражданский	Работает	Центрифуги	9800
	Зеленогорск (Красноярск-45)	Гражданский	Работает	Центрифуги	5800
	Северск (Томск-7)	Гражданский	Работает	Центрифуги	2800
Великобритания	Кейпенхерст	Гражданский	Работает	Центрифуги	4000
США	Падьюка, газовая диффузия	Гражданский	Работает	Диффузия	11000
	Портсмут	Гражданский	Остановлен	Диффузия	7400
	Пайктон, Огайо (USEC/DOE) ^e	Гражданский	Планируется	Центрифуги	3500
	Юнис, Нью-Мексико)(LES/Уренко) ^e	Гражданский	Планируется	Центрифуги	3000
	Игл Рок, Айдахо (AREVA)	Гражданский	Планируется	Центрифуги	3000
	Уилмингтон, Северная Каролина (GLE)	Гражданский	Планируется	Лазер	3500-6000

Примечания: ^aЦифры в скобках для предприятий Уренко – это мощности после завершения планируемого расширения; ^bОценки для Индии взяты из: M. V. Ramana, "An Estimate of India's Uranium Enrichment Capacity," *Science & Global Security*, 12 (2004); и для Пакистана из: David Albright, Frans Berkhout, and William Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996*, SIPRI (Oxford University Press, 1997); ^cЦифры для Ирана предполагают 50 000 машин с мощностью в 2-5 ЕРР/год каждая, из: Mark Hibbs, "Current Capacity at Natanz Plant about 2,500 SWU/yr, Data Suggest," *Nuclear Fuels* (31 January 2005); ^dОценки для России взяты из: Oleg Bukharin, "Understanding Russia's Enrichment Complex," *Science & Global Security*, 12 (2004); ^e Информация о планируемых заводах с центрифугами в США взята из www.nrc.gov/materials/fuel-cycle/fac/gas-centrifuge.html.

Устаревшие и более не работающие предприятия по производству расщепляющихся материалов в ядерных державах продолжают закрываться и в некоторых случаях демонтироваться.

В апреле и июне 2008 года Россия выключила два оставшихся действующими реактора для производства плутония на площадке Северск/Томск-7⁴⁸. Два реактора, АДЭ-4 и АДЭ-5, работали с 1965 и 1968 годов, соответственно, и каждый из них производил около 0,5 тонны оружейного плутония в год, также как электричество и тепло для отопления района⁴⁹.

Ожидается, что последний российский реактор для производства плутония (АДЭ-2) на площадке Железногорск/Красноярск-26 будет выключен в 2010 году, когда будет закончена заменяющая теплоэлектростанция на угле. Оработанное металлическое топливо этих трех реакторов не могло безопасно храниться в течение более, чем нескольких месяцев без серьезной коррозии, и оно перерабатывалось.

Таблица 4. Крупные обогатительные предприятия, действующие, строящиеся, и планируемые, как это перечислено в информационной системе МАГАТЭ по ядерному топливному циклу, если только не указано обратное. Действительная производительность перерабатывающих заводов нередко составляет лишь малую долю от их проектной мощности. Производительность дается количеством оработанного топлива, которое может быть переработано за год, измеряемым в тоннах «тяжелого металла» (в этих случаях урана) в топливе.

Страна	Название/Расположение	Тип	Статус	Мощность (тТМ/год)
Франция	Ла Хаг – UP2	Гражданский	Работает	1000
	Ла Хаг – UP3	Гражданский	Работает	1000
Китай ^a	Юменжен	Гражданский	Запуск	50
Индия ^b	Тромбей	Военный	Работает	50
	Тарапур	(Неясно)	Работает	100
	Калпаккам	(Неясно)	Работает	100
Израиль ^c	Димона	Военный	Работает	40-100
Япония	Перерабатывающий завод JNC Токаи	Гражданский	Работает	210
	Перерабатывающий завод Роккашо	Гражданский	Запуск	800
Северная Корея ^d	Йонгбен	Военный	Приостановлен	50-200
Пакистан ^b	Ндоре	Военный	Работает	10-20
	Чашма	Военный	Строится	50-100
Россия ^e	РТ-1, комбинат Маяк	Гражданский	Работает	400
	РТ-2, Красноярск, 1-ая линия	Гражданский	Отложен	800
	Томск-7 (Северск)	Гражданский	Работает	6000
	Железногорск	Гражданский	Работает	3500
Великобритания	BNFL B205	Гражданский	Работает	1500
	BNFL Торп	Гражданский	Приостановлен	900
США	Саванна Ривер, каньон Н	Гражданский	Работает	15

Примечания: ^aMark Hibbs, "CNNC Favors Remote Site for Future Reprocessing Plant," *Nuclear Fuel* (7 April 2008); ^bОценки для Индии и Пакистана взяты из Z. Mian and A.H. Nayyar, "An Initial Analysis of Kr-85 Production and Dispersion from Reprocessing in India and Pakistan." *Science and Global Security*, 10(3), (2002); ^cОценки для Израиля взяты из David Albright, Frans Berkhout, and William Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996*, SIPRI (Oxford University Press, 1997): 259-261; ^dОценки для Северной Кореи взяты из David Albright and Paul Brannan, "The North Korean Plutonium Stock, February 2007," Institute for Science and International Security (20 February 2007); ^eОценки для Северска и Железногорска определены из годового производства плутония, приведенного в Thomas Cochran, Robert S. Norris, and Oleg A. Bukharin *Making the Russian Bomb: From Stalin to Yeltsin* (Westview, 1995): 280 and 291, и плутоний в оработанном топливе приведен в D. F. Newman, C. J. Gesh, E. F. Love, and S. L. Harms, *Summary of Near-term Options for Russian Plutonium Production Reactors* (Pacific Northwest National Laboratory, PNL-9982, July 1994): 9.

С 1994 года накопилось 18 тонн оружейного плутония, выделенного из топлива этих трех производственных реакторов, хранилось (10 тонн в Северске и 8 тонн в Железногорске) в соответствии с соглашением с Соединенными Штатами, и его обязались не использовать для оружейных целей. Росатом планирует собрать весь этот плутоний в подземном хранилище в Железногорске⁵⁰. Девять тонн оксида плутония включено в 34 тонны, которые Россия обязалась утилизировать в МОХ-топливо в соответствии с российско-американским соглашением об утилизации плутония⁵¹.

В 2008 году, в качестве меры по прозрачности, президент Франции пригласил международных наблюдателей присутствовать на демонтаже перерабатывающего завода в Маркуле и газодиффузионного обогатительного предприятия в Пьерлатте⁵². Эти военные предприятия эксплуатировались с 1958 и 1967 года соответственно и прекратили свою работу в 1996 году. Ожидается, что дезактивация и вывод из эксплуатации этих предприятий продлится несколько десятилетий.

В 2007 году были разрушены башенные охладители восьми британских реакторов двойного назначения в Колдер-Холле и Чэпелкроссе⁵³. Реакторы использовались как для производства электроэнергии, так и, время от времени, для производства военного плутония, ко-

торое закончилось в 1989 году⁵⁴. Две группы реакторов были выключены в 2003 и 2004 году соответственно.

В октябре 2007 года Северная Корея обязалась закончить свою программу ядерного оружия, объявить свою ядерную деятельность, и в конце 2007 года вывести из строя реактор для производства плутония в Ионгбене и связанные с ним заводы по изготовлению топлива и переработке. Башенный охладитель реактора в Ионгбене был разрушен в июне 2008 года⁵⁵.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время имеется девять стран, обладающих ядерным оружием. Самые большие арсеналы принадлежат Соединенным Штатам и России, каждая из которых имеет в 10 раз больше ядерного оружия, чем все остальные страны, вместе взятые.

Соединенные Штаты, Великобритания, Россия, Северная Корея, Франция и Китай остановили производство расщепляющихся материалов для оружия. Все страны, кроме Китая, сделали официальные заявления по этому поводу. Полагают, что производство продолжается в Индии и Пакистане, и, возможно, в Израиле.

Глобальные запасы высокообогащенного урана (ВОУ) оцениваются в $1\,670 \pm 300$ тонн. Они уменьшаются, поскольку суммарное ежегодное количество разбавления ВОУ Россией и Соединенными Штатами до низкообогащенного урана (НОУ) для использования в энергетических реакторах с обычной водой существенно больше, чем суммарное производство ВОУ в Пакистане для ядерного оружия и в Индии для военно-морских реакторов. Как Пакистан, так и Индия, возможно, будут стараться увеличить свое производство ВОУ. Появляется все больше свидетельств в пользу того, что Израиль мог получить из США до 100 кг ВОУ для его программы ядерного оружия.

Франция, Россия, Великобритания и Соединенные Штаты используют ВОУ для топлива для подводных лодок и надводных кораблей, а Индия планирует начать испытания подводной лодки с ядерной энергетической установкой. По оценкам, Соединенные Штаты используют две тонны ВОУ оружейного качества для ядерных двигательных установок, а Россия использует около одной тонны (не весь из которого оружейного качества). Соединенные Штаты резервировали 128 тонн ВОУ для военно-морского топлива, но в 2008 году Сенат США потребовал от флота изучить использование НОУ для будущих кораблей с ядерными энергетическими установками. Франция уже переводит свой ядерный флот на топливо с НОУ.

ВОУ также используется в более, чем 130 гражданских и военных реакторах, в количестве почти 100 метрическими тонн, распределенных по всему миру в действующих и выключенных реакторах. Ежегодное потребление ВОУ уменьшилось до примерно 800 килограммов ВОУ в год, в основном из-за выключения примерно 110 исследовательских реакторов. Еще почти 60 исследовательских реакторов были переведены на топливо с НОУ.

Глобальный запас выделенного плутония составляет примерно 500 тонн, около половины которого является гражданским. Полагают, что только Индия и Пакистан, и, возможно, Израиль, производят плутоний для оружия, с суммарной производительностью менее, чем 60 кг в год. Эта производительность существенно возрастет, когда Пакистан закончит свои два новых производственных реактора в Хушабе, и если Индия будет использовать свой прототип реактора-размножителя на быстрых нейтронах, который планируется ввести в строй в 2010 году, для производства оружейного плутония. Гражданские запасы, однако, растут намного быстрее, примерно на 5 тонн в год. Эта скорость увеличится, когда возобновит работу британское предприятие Торп, японский завод по переработке в Роккашо начнет коммерческие операции, и Китай начнет эксплуатировать свой гражданский завод по переработке в Юменжене.

Гонка вооружений холодной войны оставила Соединенные Штаты и Россию с очень большими ядерными арсеналами и запасами расщепляющихся материалов. Обе страны объявили избыточными для оружейных требований или военно-морского топлива некоторую часть высокообогащенного урана и плутония, которые они произвели для оружия. Соединенные Штаты и Россия продолжают разбавлять соответственно 210 и 500 тонн ВОУ, которые они объявили избыточными. Соединенные Штаты и Россия, однако, еще не начали уничтожать 34 тонны оружейного плутония, которые они объявили избыточными.

Новые военные предприятия строятся или планируются в Индии и Пакистане. Но максимальный рост производительности связан с новыми гражданскими обогатительными заводами, которые планируется построить в Соединенных Штатах и Франции. Несмотря на их гражданский статус, многие действующие и планируемые обогатительные предприятия в Соединенных Штатах могут не подпадать под гарантии МАГАТЭ.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. *Global Fissile Material Report 2008*, International Panel on Fissile Material, Princeton, NJ, September 2008, www.ipfmlibrary.org/gfmr08.pdf
2. *Nonproliferation and Arms Control Assessment of Weapons-Usable Fissile Material Storage and Excess Plutonium Disposition Alternatives*, U.S. Department of Energy, DOE/NN-0007, Washington, D.C., January 1997, pp. 37-39, www.ipfmlibrary.org/doe97.pdf
3. *Highly Enriched Uranium: Striking a Balance. A Historical Report on the United States Highly Enriched Uranium Production, Acquisition, and Utilization Activities from 1945 through September 30, 1996*, U.S. Department of Energy, January 2001 (publicly released in 2006), www.ipfmlibrary.org/doe01.pdf
4. U.K. Ministry of Defence, *Historical Accounting for UK. Defence Highly Enriched Uranium*, March 2006, www.ipfmlibrary.org/mod06.pdf
5. Заметьте, что полное производство не включает удаления из запасов из-за испытаний ядерного оружия, потребления для изготовления топлива, или других процессов.
6. На 30 июня 2008 года, согласно www.usec.com/megatonstomegawatts.htm
7. Эти 96 тонн включают: 14 тонн (первоначально доступные как UF₆) и 47 тонн для Обоганительной корпорации США (USEC); 31,7 тонны для Администрации долины Теннесси (TVA) в качестве части программы разбавления до НОУ (BLEU); 1 тонну для проекта надежной поставки топлива (RFS) и 2,5 тонны для топлива с НОУ для исследовательских реакторов. Данные взяты из R. George, "U.S. HEU Disposition Program," *INMM 49th Annual Meeting*, Nashville, TN, 13-17 July 2008.
8. H. Myers, "The Real Source of Israel's First Fissile Material," *Arms Control Today*, October 2007, 56. Генри Майерс работал в штате Внутреннего комитета Палаты представителей, на котором лежала ответственность за надзором за Ядерной регулятивной комиссией (NRC), когда Ядерная регулятивная комиссия расследовала дело корпорации ядерных материалов и оборудования (NUMEC) в конце 1970-х годов.
9. V. Gilinsky, "Israel's Bomb," *New York Review of Books* 51(8) (13 May 2004), www.nybooks.com/articles/17104. См. также статью того же автора "Time For More NUMEC Information," *Arms Control Today*, June 2008.
10. Frank Barnaby, *The Invisible Bomb: The Nuclear Arms Race in the Middle East* (I. B. Tauris, London, 1989), 40; и М. Вануну, интервью с Барнеби, сентябрь 1986 г. Согласно заявлениям Вануну для Барнеби, обогатительный завод начал производство в 1979-1980 г.г.
11. По оценкам, Пакистан на 1990 г. имел мощности по обогащению до 15 000 ЕРР в год, или, эквивалентно, 3000 центрифуги Р-2 с мощностью обогащения 5 ЕРР/год, David Albright, Frans Berkhout, and William Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996*, SIPRI (Oxford University Press, 1997), 217-281.
12. M. Hibbs, "Pakistan Developed More Powerful Centrifuges," *Nuclear Fuel* 32(3), 29 January 2007; M. Hibbs, "P-4 Centrifuge Raised Intelligence Concerns about Post-1975 Data Theft," *Nucleonics Week* 48(7) (15 February 2007).
13. Пакистан может оказаться неспособным полностью использовать преимущества своих более мощных машин Р-4 из-за ограниченных доступных ему поставок урана, которые необходимо разделить с производственным реактором Хушаб. После того, как вступят в строй другие производственные реакторы, которым потребуется почти 40 тонн топлива в год, если все они будут иметь такие же размеры, как первый реактор Хушаб, Пакистан может прибегнуть к обогащению накопившихся урановых отходов, или переработанного урана из своих производственных реакторов. См. статью Zia Mian, A. H. Nayyar, and R. Rajaraman (готовится к печати).
14. O. Reistad and S. Hustveit, "HEU Fuel Cycle Inventories and Progress on Global Minimization," *The Nonproliferation Review* 15(2) (July 2008).

15. "The committee directs the Office of Naval Reactors to review carefully options for using low enriched uranium fuel in new or modified reactor plants for surface ships and submarines," Senate Committee on Armed Services Report, *National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2009*, 12 May 2008, 515.
16. *The Strategic Defence Review*, July 1998. Cm 3999, www.ipfmlibrary.org/mod98.pdf
17. NIREX Technical Note. Document 375301, Implications of Declaring UK Uranium Stocks as Waste, 26 March 2002, www.ipfmlibrary.org/nir02.pdf
18. Sandeep Unithan, "The Secret Undersea Weapon," *India Today* (28 January 2008): 52-55.
19. По оценкам, в каждой активной зоне содержится 90 кг урана-235 в форме 300 кг обогащенного до 30% БОУ. М. V. Ramana, "An Estimate of India's Uranium Enrichment Capacity," *Science & Global Security* 12 (2004): 115-124.
20. См. ссылку [18].
21. Индия не сможет производить так много БОУ в 2014 г., если она будет просто поддерживать или даже линейно увеличивать свои мощности обогащения от оцениваемого значения в 3000 ЕРР в год, которые требовались ей для производства БОУ для наземного прототипа активной зоны.
22. David Albright and Susan Basu, *India's Gas Centrifuge Enrichment Program: Growing Capacity for Military Purposes*, Institute for Science and International Security, 18 January 2007.
23. См. ссылку [14].
24. Соединенные Штаты удерживают около 45 тонн гражданского БОУ, которые включают около 20 тонн в хранилище на площадке Y-12 для будущего использования в качестве БОУ в исследовательских и космических реакторах, и около 13 – 15 тонн в отработанном топливе. Десять тонн гражданского БОУ находится в неядерных государствах и 8 тонн в Великобритании и Франции. Хорошие оценки для Китая и России все еще недоступны, но все указывает на то, что российские запасы гражданского БОУ по крайней мере так же велики, как в Соединенных Штатах.
25. Наиболее важным и противоречивым исключением является исследовательский реактор FRM-II вблизи Мюнхена в Германии, который вступил в строй в 2004 году и для которого требуется 35-40 кг БОУ оружейного качества в год. Планируется уменьшение обогащения до 50%, или менее, и оно должно быть завершено 31 декабря 2010 года в соответствии с соглашением между федеральным правительством Германии и правительством земли Бавария.
26. См. ссылку [14].
27. К этому времени БОУ будет использоваться только в немецком реакторе FRM-II.
28. Parish Staples, "An Overview of the Global Threat Reduction Initiative Program for Research Reactor Conversions," *49th INMM Annual Meeting*, 13-17 July 2008, Nashville, TN.
29. *U.S. Removes Nine Metric Tons of Plutonium From Nuclear Weapons Stockpile*, U.S. Department of Energy, Press Release, 17 September 2007, www.ipfmlibrary.org/bod07.pdf
30. См. *Global Fissile Material Report 2007*, chapter 3.
31. См. ссылку [10], p. 25.
32. Эта оценка предполагает, что на 1 МВт-день производится 0,85 г плутония, мощность реактора равна 70 МВт, и 250-300 дней работы на полной мощности в год.
33. Если отработанное топливо реактора PHWR охлаждается в среднем три года перед разгрузкой, то тогда отработанное топливо, выгруженное в конце 2004 г., было доступно для переработки в конце 2007 г. Это отработанное топливо до 2005 года содержит, по оценкам, 9,2 тонны плутония. Если перерабатывающие заводы работают со средним коэффициентом использования в 70%, то тогда к началу 2008 года может быть выделено около 6,4 тонны из этого плутония.
34. A. Glaser and M.V. Ramana, "Weapon-Grade Plutonium Production Potential in the Indian Prototype Fast Breeder Reactor," *Science and Global Security* 15(2) (2007): 85-105.
35. M.R. Ramana, частное сообщение, август 2008 г., основанное на данных от Индийской корпорации атомной энергии, www.npcil.nic.in/plantsoperation.asp
36. Реактор с топливом из природного урана, основанный на проекте канадского реактора NRX (так же, как и индийский реактор CIRUS) предположительно имеет мощность 50 МВт и работает с коэффициентом использования 70% при степени выгорания 1000 МВт-день/тонна.
37. Подробности можно найти в главе 1 *Global Fissile Material Report 2007*.

38. Glenn Kessler, "Message to U.S. Preceded Nuclear Declaration by North Korea," *Washington Post*, 2 July 2008.
39. По оценкам США, Северная Корея произвела 40-50 кг плутония, включая количество, использованное в испытании. Helene Cooper, "In Disclosure, North Korea Contradicts U.S. Intelligence on Its Plutonium Program," *New York Times*, 31 May, 2008. См. также David Albright, Paul Brannan, and Jacqueline Shire, *North Korea's Plutonium Declaration: A Starting Point For An Initial Verification Process*, ISIS, 10 January 2008, www.isis-online.org
40. CNIC, *Rokkasho active tests*, cnic.jp/english/topics/cycle/rokkasho/activetests.html
41. Masa Takubo, частное сообщение, 10 августа 2008 г., цитирующее сообщение в японской газете *Too Nippo*, 30 June 2008.
42. Martin Forwood, *The Legacy of Reprocessing in the United Kingdom*, IPFM Research Report No. 5, International Panel on Fissile Materials, July 2008, www.ipfmlibrary.org/rr05.pdf
43. Там же.
44. *NDA Plutonium Options*, Nuclear Decommissioning Authority, August 2008, www.ipfmlibrary.org/nda08/pdf
45. Mycle Schneider and Yves Marignac, *Spent Nuclear Fuel Reprocessing in France*, IPFM, April 2008.
46. Mark Hibbs, "CNNC Favors Remote Site for Future Reprocessing Plant," *Nuclear Fuel*, 7 April 2008.
47. Ann MacLachlan, "Areva, China Seal Long-Term Mining, Fuel Cycle Pact," *Nuclear Fuel*, 3 December 2007.
48. C. J. Chivers, "Russians to Shut Reactor That Produces Bomb Fuel," *New York Times*, 20 April 2008, www.nytimes.com/2008/04/20/world/europe/20russia.html, обновлено в "Russia Ends Plutonium Production in Seversk," 5 June 2008, Russian Strategic Forces blog, www.russianforces.org/blog/2008/06/russia_ends_plutonium_producti.shtml
49. T. B. Cochran, R. S. Norris, and O. A. Bukharin, *Making the Russian Bomb: From Stalin to Yeltsin* (Westview Press, 1995), 138.
50. Pavel Podvig, "Plutonium from Last Russian Production Reactors," 16 July 2008, www.russianforces.org/nuclear/2008/07/plutonium_from_last_russian_pr.shtml
51. *Agreement between [the U.S. and Russia] concerning the management and disposition of plutonium designated as no longer required for defense purposes and related cooperation*, "Annex on Quantities, Forms, Locations and Methods of Disposition," 2000, www.ipfmlibrary.org/doe00.pdf
52. Речь Президента Николя Саркози, *Presentation of Le Terrible in Cherbourg*, 21 March 2008, www.ipfmlibrary.org/sar08.pdf
53. "Chapelcross Cooling Towers," UK Nuclear Decommissioning Authority, 21 May 2007, www.nda.gov.uk/news/chapelcross-demolition.cfm; "Sellafield Towers are Demolished," *BBC*, 29 September 2007, news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/cumbria/7019414.stm
54. David Albright, Frans Berkhout, and William Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996*, SIPRI (Oxford University Press, 1997), 63.
55. Blaine Harden and Stella Kim, "N. Korea Razes Cooling Tower In Show of Nuclear Accord," *Washington Post*, 28 June 2008.