

ЯПОНСКИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИЙ УРАНОВЫЙ РЕЗЕРВ: БЕЗОПАСНАЯ И ЭКОНОМИЧНАЯ АЛЬТЕРНАТИВА ПЛУТониЮ

Поль Левенталь и Стивен Долли

Япония могла бы приобрести запас низкообогащенного уранового топлива на 50 лет для своих ядерных электростанций при затратах, составляющих около половины стоимости плутониевой программы с обеспечением энергетической безопасности и крупных экономических и политических выгод. Топливо для легководных реакторов, изготовленное из плутония, стоит в 4-8 раз дороже обычного уранового топлива. Япония может создать стратегический урановый резерв для удовлетворения тревог о безопасности ее энергетики и устранения необходимости продолжать сейчас повторный плутониевый цикл, с чем связаны много сопутствующих затрат и риск ядерного распространения. Такой резерв обеспечил бы пятидесятилетние временные рамки, в течение которых Япония могла бы разработать позднее коммерческий реактор-размножитель, если это окажется необходимым. Анализ потока средств в текущих ценах показывает, что при создании 50-летнего уранового резерва вместо программы коммерческого плутония и реакторов-размножителей Япония могла бы сэкономить до 22.7 миллиардов долларов. Экономия была бы еще больше (до 38.4 миллиарда долларов) при создании запаса обогащенного урана, меньшего по размеру, чем предельный 50-летний пример, или запаса естественного урана. Такой резерв сделал бы также крупный вклад в сохранение азиатско-тихоокеанского региона свободным от ядерных материалов, используемых в ядерном оружии.

Поль Левенталь - президент Института ядерного контроля в Вашингтоне, США. Стивен Долли - директор по исследованиям в этом же институте.

Статья представляет собой переделку доклада авторов от 14 января 1994 г. В этом докладе дались измененная версия исследований, завершённых 12 апреля 1993 г., которые опирались на цены 1993 г. В современной версии учитываются инфляция и будущие цены для определения чистой приведенной стоимости.

ОБЩИЙ ОБЗОР: ПОЧЕМУ СТРАТЕГИЧЕСКИЙ УРАНОВЫЙ РЕЗЕРВ?

Начальная мечта о "слишком дешевой, чтобы ее измерять" электроэнергии, генерируемой ядерной энергией с вечной подпиткой плутонием, который воспроизводится из отработанного реакторного топлива и проходит повторный цикл в быстрых реакторах-размножителях (БРР), давно уже поблекла. Неблагоприятная экономика, неотступные проблемы безопасности и окружающей среды, а также серьезный риск распространения ядерного оружия привели большинство стран к отказу от крупномасштабной разработки реакторов-размножителей.

Япония является единственной крупной промышленной страной, которая все еще активно вкладывает средства в осуществление программы коммерческих реакторов-размножителей¹. Побуждения Японии к размножению плутония основаны на реальной тревоге относительно энергетической безопасности. В 1991 г. японская Комиссия по атомной энергии заявила: "Повторный цикл ядерного топлива делает ядерную энергию более привлекательным и стабильным источником энергии с точки зрения дальнейшей перспективы, чтобы можно было еще более увеличить национальную энергетическую безопасность. Обеспечение природными ресурсами Япония проявляет особый интерес к этому вопросу"². Комиссия запланировала, что к 2010 г. примерно 80 или 90 тонн делящегося плутония будут смешаны с ураном в виде топлива из смеси оксидов (МОХ-топлива) и потреблены в японских реакторах-размножителях и в легководных реакторах (ЛВРвх)³.

Наше исследование выгоды затрат и риска указывает, что целям Японии разработать безопасное и стабильное снабжение ядерной энергией плохо соответствует повторный плутониевый цикл для реакторов-размножителей, если сравнить его с накоплением урана для ЛВРвх. Планы повторного цикла для плутония и его размножения появились более 30 лет тому назад когда считалось, что полные запасы урана малы, а цены в будущем станут высокими в расчете на широкое распространение выработки ядерной энергии по всему миру. В настоящее время на рынке существует избыток урана и услуг по его обогащению, а цены на них низки в результате об-

наружения новых месторождений урана и того, что ядерная энергетика развивается не столь быстро, как ожидалось сначала. Тем временем доказано, что переработка отработанного топлива - повторный плутониевый цикл и разработка реакторов-размножителей причиняют больше беспокойства и оказываются во много раз более дорогими, чем ожидалось.

Мировые потребности в уране могут быть снижены на сегодня перспективой появления сотен тонн высокообогащенного урана (ВОУ), извлекаемых из демонтируемого ядерного оружия США и России и становящихся доступными в виде низкообогащенного топлива для ядерных реакторов. Как минимум 500 - 700 тонн ВОУ могут появиться в распоряжении в былом Советском Союзе плюс по крайней мере еще 500 - 600 тонн ВОУ в Соединенных Штатах благодаря демонтажу тысяч ядерных боеголовок⁴. Верхней границы этих оценок российского и американского оружейного урана окажется достаточным для обеспечения снабжения (в разведанном виде) низкообогащенным ураном всех действующих и сооружаемых реакторов в Японии в течение 10 лет (см. табл. 4).

Впрочем даже без доступа к этому бывшему военному материалу существуют достаточно большие запасы естественного урана и услуги по обогащению чтобы позволить Японии приобрести "стратегический урановый резерв" низкообогащенного урана (НОУ), чего хватит, чтобы обеспечить в течение 50 лет снабжение топливом всех ее ЛВР, которые могли бы действовать в 2030 г. Пятидесятилетний резерв НОУ - это предельный случай, который оказался бы наиболее консервативным путем к энергетической безопасности, поскольку Япония могла бы с очевидностью добиться вполне достаточной безопасности по отношению к реальным сценариям прекращения поставок и нехватки топлива на основе запасов НОУ половинного (или даже меньшего) размера. Кроме того, резерв может состоять из естественного урана, который можно приобрести гораздо дешевле и обогащать позднее, если это окажется необходимым.

В любом случае государственный урановый резерв обеспечит преимущество энергетической безопасности, аналогичное по концепции но более продолжительное, чем дает созданный в настоящее время в Японии стратегический нефтяной резерв.

Более длительная безопасность от неожиданного сокращения поставок урана или прекращения снабжения ликвидирует какую бы ни было потребность в повторном плутониевом цикле с многими сопутствующими затратами и видами риска⁵. Стратегический урановый резерв позволит Японии задержать сооружение завода по переработке в Роккашо и постановку БРР на коммерческую основу. Программа этих реакторов в Японии могла бы продолжаться на существующем уровне затрат на НИОКР с полной уверенностью, что стратегический урановый резерв будет успешно осуществляться и обеспечит Японии период энергетической безопасности (в предельном случае до 50 лет), в течение которого позднее можно будет разработать программу коммерческих реакторов-размножителей, если когда-нибудь появится в них нужда.

Кроме того, стратегический урановый резерв позволит Японии пересмотреть европейские контракты по переработке, чтобы добиться хранения отработанного топлива и обогащения урана вместо немедленной переработки и отправки излишнего плутония обратно в Японию. Такой подход, который можно назвать "хранение плюс разделение вместо плутония" дает возможность японским коммунальным службам избежать двойной дилеммы: повторения международного протеста, вызванного в 1992 г. морской перевозкой плутония из Франции и возможной сильной оппозиции внутри страны в том случае, если плутоний возылся бы в Японию быстрее, чем его можно было потребить в ЛВРАх (это стало бы нарушением официальной японской политики, исключающей излишки плутония)⁶.

Действительно, в то время когда Япония ищет поддержку со стороны соседних стран в борьбе за место в Совете Безопасности ООН, японское правительство могло бы приветствовать шанс избежать ссор и дестабилизации в регионе, связанных с возобновлением морских перевозок и увеличением приобретения плутония Японией⁷. (Если бы Япония отложила программу коммерческой переработки своего плутония и повторного плутониевого цикла, но обнаружила в дальнейшем, что из-за технических трудностей на опытном заводе по переработке в Токаймура ей потребовались бы одна-две перевозки по морю, чтобы обеспечить достаточно плутония для существующей программы НИОКР, то такие

ограниченные перевозки могли бы не вызвать серьезного противодействия, если осуществлять их с уделением более серьезного внимания заботам о безопасности стран, находящихся на пути таких перевозок.)

Далее, при помощи стратегического уранового резерва Япония оказалась бы в положении, когда она поддерживает приходящие в упадок урановые месторождения и промышленность по разделению во всем мире, а также обеспечивает работу для растущей японской промышленности по разделению изотопов. Вероятно более важным окажется то, что создание стратегического уранового резерва стало бы крупной возможностью помочь России. Проводя такую помощь, Япония могла бы получить прямые и осязаемые дивиденды в виде огромных количеств недорогого естественного урана и услуг по обогащению, не говоря уже о доброй воле, которая могла бы помочь при решении споров о Курильских островах.

Мы покажем, что выгоды от стратегического резерва НОУ или естественного урана доступны для Японии при гораздо меньших экономических затратах, чем от продолжения в это время программ плутония и реакторов-размножителей на коммерческом уровне. Даже в наиболее дорогом случае 50-летнего резерва НОУ экономия составила бы 22,7 миллиарда долларов или 44% для всех действующих и сооружаемых реакторов (см. табл. 1). Кроме того, эти выгоды доступны без неблагоприятного воздействия на существующие контракты японских компаний по поставкам урана и обогащению, а также без подрыва текущих планов США использовать разведенный российский уран оружейного качества для удовлетворения существующих контрактов по НОУ с Японией и другими странами.

ЗАПЛАНИРОВАННАЯ ЯПОНСКАЯ КОММЕРЧЕСКАЯ ПЛУТОНИЕВАЯ ПРОГРАММА

Реакторы с плутониевым топливом

Экспериментальный БРР "Моноку" на 280 МВт(эл), ввод которого в действие запланирован на весну 1994 г., в данном исследовании рассматривается как часть японской программы НИОКР по плутонию, а не как часть коммерческой деятельности.

Таблица 1
Сравнение стоимостей японской плутониевой программы и 50-летнего резерва НОУ
(в млрд. долл. в ценах 1993 г.)

Состояние реакторов	Плутониевая программа	Урановый резерв	Общая выгода
Стандартный случай			
Действующие и сооружаемые: 42 205 МВт(эл)	50.6	33.8	16.9 (33%)
Действующие, сооружаемые и проектируемые до 2030 г.: 72 000 МВт(эл)	53.2	39.5	13.8 (26%)
Наилучший случай для уранового резерва			
Действующие и сооружаемые: 42 205 МВт(эл)	51.9	29.2	22.7 (44%)
Действующие, сооружаемые и проектируемые до 2030 г.: 72 000 МВт(эл)	54.9	34.0	20.9 (38%)
Наихудший случай для уранового резерва			
Действующие и сооружаемые: 42 205 МВт(эл)	50.1	38.6	11.4 (23%)
Действующие, сооружаемые и проектируемые до 2030 г.: 72 000 МВт(эл)	52.9	46.1	6.8 (13%)

Поэтому затраты на "Монжу" и потребности в МОХ-топливе не включены в этот анализ стоимости японской коммерческой плутониевой программы.

Япония планирует построить "Ома" - тепловой реактор передовой конструкции (ПТР) с МОХ-топливом на 606 МВт(эл). Сейчас собираются ввести его в действие в марте 2001 г.⁸ Японская компания по производству электроэнергии, которая разрабатывает "Ома" недавно оценила капитальные затраты в 470 миллиардов йен (около 4,7 миллиардов долларов)⁹.

Официальные планы для ДБРР (демонстрационного БРР) и последующих докоммерческих БРРов еще весьма неясны, поскольку до сих пор не обозначены мощность ДБРР и его ежегодные потребности в топливе. В данном исследовании предполагается что мощность ДБРР составит 600 МВт(эл)¹⁰, а капитальные затраты на него оцениваются примерно в 3,3 миллиарда долларов; это основано на предположениях Японской компании по атомной энергии, что ДБРР будет стоить примерно в полтора раза больше ЛВР¹¹. Сроки план-графика для ДБРР несколько раз отодвигались назад - сейчас планируется завершить его сооружение к 2010 г.¹²

В этом исследовании предполагается, что два следующих за ДБРР реактора будут сооружены к 2030 г. Предполагается также, что в целях коммерческой демонстрации электрическая мощность БРРов будет пропорционально возрастать. Таким образом считается, что у БРР-2 мощность составит 800 МВт(эл), а у БРР-3 - 1200 МВт(эл)¹³. Странники БРР надеются, что экономия подобия сократит разрыв капитальных затрат между ЛВРами и реакторами-размножителями по мере сооружения БРРов. В этом исследовании применена консервативная оценка: БРР-2 будет стоить в 1,3 раза, а БРР-3 в 1,1 раза больше стоимости эквивалентных по мощности ЛВР. Если это окажется верным, то стоимость БРР-2 составит около 2,9 миллиардов долларов, а стоимость БРР-3 - около 3,8 миллиардов долларов. Предполагается, что эксплуатационный ресурс как для реакторов с плутониевым топливом, так и для ЛВР составляет 30 лет. Ежегодные расходы на техническое обслуживание достигнут для обоих типов реакторов, как считается, пяти процентов от начальных капитальных затрат¹⁵.

Таблица 2

Оценки капитальных затрат на японскую коммерческую плутониевую программу⁷
(в млрд. долл. в ценах 1993 г.)

Завод по переработке топлива от ЛВР (Роккашо)	16,3
Следующий завод по переработке топлива от ЛВР	16,3
Завод по переработке МОХ-топлива для ЛВР	22,9
Завод по производству МОХ-топлива для БРР	0,4
ПТР "Ома"	0,6
Демонстрационный БРР	4,7
Два докоммерческих БРР к 2030 г.	3,3
ВСЕГО	6,7
	71,2

а) Сюда не входят затраты на БРР "Джойо" и "Монжу" ПТР "Фуген" и завод по переработке в Токаи - они рассматриваются как часть плутониевой программы НИОКР; оценки затрат приведены в тексте.

б) Оценки затрат не индексировались; они округлены с точностью до ста миллионов долларов.

Капитальные затраты на заводы по переработке

Япония в настоящее время планирует перерабатывать все свое отработанное топливо как для извлечения плутония, так и для распоряжения отходами¹⁶. Однако ее возможности для этого ограничены (среди прочих факторов) производительностью переработки, доступной в Японии и за рубежом. В данном исследовании предполагаются сценарии переработки, когда Япония перерабатывает ежегодно столько отработанного топлива, сколько позволяют существующие национальные возможности и текущие контракты с Англией и Францией, а все остальное произведенное отработанное топливо помещается на временное долгосрочное внестанционное хранение.

Влиятельная японская финансовая газета "Никкей" сообщила недавно, что официальная оценка стоимости первого завода коммерческого масштаба по переработке, который будет построен в Роккашомура, выросла до 1,7 триллиона йен, почти удвоив более ранние оценки в 840 миллиардов йен¹⁷. Поэтому мы предполагаем, что завод по переработке топлива от ЛВР в Роккашо будет стоить примерно 16,3 миллиарда долларов в ценах 1993 г.¹⁸

Потребуется завод по переработке топлива от ЛВР с оцениваемой стоимостью в 16,3 миллиарда долларов для замены завода в Роккашо в конце его эксплуатационного периода (мы считаем, что это наступит в 2030 г. через 30 лет после того, как намечено начать работу на заводе в Роккашо). Пока что нет официальных планов постройки либо этого завода, либо завода коммерческого масштаба по переработке МОХ-топлива от БРР (смотрите ниже), но для Японии оба завода станут необходимыми, если ей придется продолжать свою коммерческую плутониевую программу в течение того периода времени, который охвачен нашим исследованием; есть указания, что она планирует делать это. В отсутствие любых официальных оценок затрат данное исследование скромно предполагает, что завод, заменяющий завод в Роккашо будет стоить столько же, то-есть 16,3 миллиарда долларов в ценах 1993 года.

В какое-то время в первой половине следующего века Японии потребуется завод по переработке МОХ-топлива от ЛВРов и БРРов, а также материал зоны воспроизводства реакторов-размножителей¹⁹. В этом исследовании предполагается, что предприятие по переработке МОХ-топлива на коммерческом уровне начнет действовать к 2020 г. Для этого предприятия нет никаких оценок стоимости, а непосредственная экстраполяция затрат на опытную установку по переработке достаточно проблематична из-за явной неопределенности и трудности выразить в численной форме соответствующие подобные экологические параметры. Предприятие по переработке МОХ-топлива потребует более обширную и более дорогую защиту рабочих и окружающей среды из-за более высокого содержания плутония в МОХ-топливе по сравнению с НОУ-топливом от ЛВРов. В этом исследовании считается, что завод по переработке МОХ-топлива будет стоить в 1,4 раза дороже, чем завод в Роккашо то-есть около 22,9 миллиардов долларов в ценах 1993 г.²⁰

Стоимость технического обслуживания заводов по переработке

В настоящее время в Японии действует опытный завод по переработке в Токаи с годовой производительностью 100 тонн отработанного топлива. Основываясь на недавно полученных данных по коэффициентам использования, это исследование считает, что Токаи будет перерабатывать 90 тонн отработанного топлива в год в промежутке от настоящего времени до конца века, когда войдет в строй

завод в Роккашо. На заводе по переработке в Роккашо с ежегодной производительностью 800 тонн планируется начать работу в 2000 г.

В нашем исследовании на японские услуги по переработке выделено 1000 долларов за килограмм (это составляет половину полных оценок затрат на переработку в Японии в 2000 долларов/кг; смотрите также раздел "Ответ на критику со стороны компании "Бритиш Нуклеар Фюел"). Оцениваемая стоимость извлеченного в результате переработки урана вычитается из стоимости услуг по переработке, чтобы определить окончательную цену переработки²².

Заморские услуги по переработке

У Японии есть контракты с компанией BNFL ("Бритиш Нуклеар Фюел") о переработке 2680 тонн отработанного топлива на заводе THORP в течение 1994-2002 гг.²³ и с компанией "Когема" о переработке 2718 тонн отработанного топлива в период 1990-2000 гг.²⁴, что составляет в итоге 5398 тонн которые будут переработаны за рубежом к 2002 г. Как предполагается, цена английских и французских услуг по переработке, на которые уже есть контракт с Японией составляет 1600 долларов за килограмм отработанного топлива в ценах 1993 г.²⁵

Заводы по производству МОХ-топлива

Япония планирует закончить сооружение своего зернового завода коммерческого уровня по производству МОХ-топлива для ЛВР где-то около 2000 г., но возможна пробуксовка на несколько лет. Сооружение займет примерно три года. Высокопоставленный сотрудник из японских ядерных кругов оценил затраты на завод чуть выше 50 миллиардов йен (около 400 миллионов долларов в ценах 1993 г.)²⁶.

До сих пор не сообщается ни о каких планах постройки коммерческого завода по производству МОХ-топлива для БРР, но в какой-то момент коммерческая разработка реакторов-размножителей потребует этого. В нашем распоряжении нет никаких официальных оценок стоимости. В отсутствие более конкретной информации это исследование использует оценки Министерства энергетики США, по которым заводы по производству МОХ-топлива для БРР обходятся примерно на 40% дороже соответствующих предприятий для ЛВРов с эквивалент-

ной производительностью²⁷ и отводит на эту установку цену в 559 миллионов долларов. Предполагается, что она начнет действовать в 2020 г.²⁸

МОХ-топливо

Цена производства одного килограмма МОХ-топлива для ЛВР или ПТР оценивается в 1300 долларов на период 1994-2003 гг.²⁹. Производство МОХ-топлива для БРР обходится значительно дороже: в этом исследовании цена предполагается равной 2250 долларов/кг на период 1994-2010 гг.³⁰. Опыт Германии подсказывает, что затраты могут вырасти еще больше: на небольшом заводе в Ханану (сейчас он закрыт), как недавно сообщалось, производство МОХ-топлива стоило около 3100 долларов/кг³¹. Из-за наличия плутония МОХ-топливо несет дополнительные расходы на безопасность и транспортировку. В этом исследовании на такие дополнительные расходы выделяется 300 долларов/кг. Они несомненно слишком малы, так как основаны только на стоимости наземных перевозок МОХ-топлива в пределах Западной Европы³².

К 2000 г. Япония планирует иметь 12 ЛВРов по 1000 МВт(эл) каждый с загрузкой одной трети активной зоны МОХ-топливом. В этом исследовании предполагается, что ежегодно потребляется 120 тонн МОХ-топлива, содержащего три процента расщепляющегося плутония³³.

ПТР "Ома" потребует перезагрузить каждый год 19 тонн МОХ-топлива с содержанием расщепляющегося плутония 3.1% в течение всего его эксплуатационного периода (как предполагается он займет 2001 - 2030 гг.)³⁴. Пока что не опубликованы данные по производительности и потребности по загрузке топливом для ДБРР и последующих БРР'ов. Основываясь на экстраполяции ежегодных потребностей по перезагрузке "Монжу", мы оцениваем следующие годовые потребности МОХ-топлива: около 6.8 тонн для ДБРР (2010-2030 гг.) около 9.1 тонн для БРР-2 (2030-2030 гг.) около 13.7 тонн для БРР-3 (2030 г.)³⁵.

Затраты в завершающем периоде топливного цикла

В эту категорию входят затраты на хранение выделенного плутония и на временное внестанционное хранение отработанного топлива для его охлаж-

Таблица 3
Стоимость компонентов топливных циклов^а

Переработка и повторный цикл	
Европейские услуги по переработке (в соответствии с контрактами)	1600 долл/кг
Японские услуги по переработке (без капитальных затрат)	1000 долл/кг
Хранение выделенного плутония	2 долл/(г.год)
Производство МОХ-топлива для ЛВР	948 - 1300 долл/кг
Производство МОХ-топлива для БРР	1882 - 2250 долл/кг
Расходы на безопасность и транспортировку МОХ-топлива	300 долл/кг
Внестанционное хранение отработанного топлива:	
Капитальные затраты	202-246 долл/кг
Техническое обслуживание	55 долл/кг
Однократный цикл без переработки	
Уран	26 - 47 долл/кг
Услуги по химической переработке урана	4.75 - 6 долл/кг
Обогащение урана ^б	70 - 119 долл/SWL(6)
Перевозка НОУ в Японию	3 долл/кг
Хранение НОУ в Японии	0.67 долл/(кг.год)
Перевозка оксида урана в Японию	1.30 долл/кг
Хранение оксида урана в Японии	0.42 долл/(кг.год)
Внестанционное хранение отработанного топлива	как для плутониевого цикла

^а Подробности приведены в тексте

^б SWL (Separation Work Unit)- единица работы по разделению

дения перед переработкой, а также отработанного топлива избыточного с точки зрения возможностей переработки.

Должны быть поставлены на хранение "остатки" плутония, то есть то количество расщепляющегося плутония, которое остается каждый год после того, как оказываются выполненными потребности на данный год в МОХ-топливе. Затраты, отнесенные в данном исследовании на хранение избыточного плутония составляют 2 доллара на грамм плутония за год хранения. В различных источниках приводятся оценки цены хранения плутония от 1 - 2 до 4 долларов/(г.год)³⁹. (Речь идет о всем плутонии, включая его нерасщепляющиеся изотопы.)

Япония ежегодно будет производить значительно больше отработанного топлива, чем ей будет необходимо для удовлетворения планируемых потребностей в плутонии, или чем она сможет переработать в соответствии с имеющейся в распоряжении ежегодной производительностью. В ожидании переработки такое топливо должно находиться на промежуточном хранении. При станционном хранении емкости не хватит на длительный срок, то есть требуется создание внестанционных хранилищ. В нашей модели подсчитано количество отработанного топлива для внестанционного хранения на данный год. Как предполагается, капитальные затраты на внестанционное хранилище составляют от 202 до 246 долларов/кг, а затраты на техническое обслуживание - 55 долларов/кг³⁸.

ЭЛЕМЕНТЫ ПРЕДЛАГАЕМОГО ЯПОНСКОГО СТРАТЕГИЧЕСКОГО УРАНОВОГО РЕЗЕРВА

Подсчет размера резерва

Для расчета размера предлагаемого японского стратегического уранового резерва были вычислены ежегодные потребности в НОУ для 48 японских ЛВРов, действующих или сооружаемых на начало 1993 г., а также для запланированной мощности будущих ЛВРов³⁹. Полная мощность японских ЛВРов, которые действовали или сооружались на начало 1993 г., составляет 42 205 МВт(эл)⁴⁰. Потребности в НОУ на 50 лет равны 39 983 тонны.

Оценка будущей ядерной мощности - весьма неопределенное занятие. Официальные японские проекты в полном долгосрочном плане, равные 70 500 МВт(эл) к 2010 г. и примерно 100 000 МВт(эл) в 2030 г.⁴¹ слишком претенциозны и нереальны. В этом исследовании предполагается разумная мощность японской ядерной энергетики 60 000 МВт(эл) к 2010 г.⁴². Предполагается, что мощность будет затем расти с темпом 600 МВт(эл)/год⁴³ и достигнет 72 000 МВт(эл) к 2030 г. Потребности в НОУ на 50 лет для ЛВРов с полной мощностью 72 000 МВт(эл) составят 68210 тонн⁴⁴.

Затраты на уран

В этом исследовании для реальной цены окиси урана использована средняя величина в диапазоне цен, предполагавшихся в докладе Международной организации по энергоресурсам за 1993 г.: 10 долларов за фунт в 1994 г., 14 долларов за фунт в 1995-1999 гг. и 18 долларов за фунт в 2000-2030 гг. (в постоянных ценах 1993 г.)⁴⁵.

Важно отметить, что сравнения цен в пересмотренном исследовании японского стратегического уранового резерва не предполагают никакого использования разведенного ВОУ из оружия. Если часть этого материала должна оказаться доступной Японии для ее стратегического уранового резерва, то цены окажутся значительно ниже наших текущих оценок.

Услуги по химической переработке

При определении цены услуг по химической переработке в расчете на один килограмм урана в этом исследовании использованы прогнозы Международной организации по энергоресурсам: 4,75 доллара за один кг урана в виде гексафторида в 1993 г., 5,50 доллара к 1995 г. и 6 долларов в 2000 г. и далее (в постоянных ценах 1993 г.)⁴⁶.

Услуги по обогащению урана

В этом исследовании предполагается что НОУ-топливо для японских ЛВРов будет в среднем иметь степень обогащения 3,7%⁴⁷. На основе проведенных в этом исследовании оценок ежегодного потребления НОУ Японией (смотрите выше) вычисленные ежегодные потребности Японии в SWU (единицах работы по разделению) для действующих в настоящее время и сооружаемых ЛВРов (42 205 МВт(эл)) составляют 4,7 миллиона SWU. Полные потребности в разделении для получения НОУ в течение 50 лет составят поэтому 234,5 миллиона SWU. Расчет ежегодных японских потребностей в разделении для всех проектируемых до 2030 г. ЛВРов (72 000 МВт(эл)) дает 8 миллионов SWU. Полные потребности в разделении для получения НОУ в течение 50 лет составят поэтому 400 миллионов SWU⁴⁸.

Реальная цена услуг по разделению, предполагаемая в этом исследовании на период 1994-2000 гг., (119 долларов/SWU) представляет из себя "льготную цену" Обоганительной корпорации США, которую она берет с клиентов, закупавших у нее все 100% нужных им SWU. Эта цена может оказаться слишком высокой. Россия имеет большую, избыточную производительность установок по разделению (как обсуждается позднее в этом докладе) и поэтому возможно захочет предоставить значительную часть этой производительности по 75 долларов/SWU⁴⁹. В далекой перспективе, как предпола-

Таблица 4
Японский стратегический урановый резерв НОУ, частично полученного из разведенного военного ВОУ^a (число лет резерва обеспечиваемых ВОУ)

Статус реакторов	НОУ-топливо только из ВОУ России (500 тонн ВОУ)	НОУ-топливо из ВОУ России и США (1000 тонн ВОУ)
Действующие и создаваемые реакторы: 42 205 МВт(эл)	18,7 лет	37,3 года
Действующие, создаваемые и проектируемые до 2030 г. реакторы: 72 000 МВт(эл)	10,9 лет	21,9 лет

^a Считается, что оружейный ВОУ содержит 90% U-235.

^b Zachary Davis et al., "Swords into Energy: Nuclear Weapons Materials After the Cold War", Congressional Research Service, Washington, DC, 29 September 1992, p. 4. Хотя оценки полных количеств ВОУ произведенных как в США, так и в России недавно значительно выросли⁴, приведенные здесь количества все еще представляют реалистичные оценки количеств ВОУ, которые могли бы стать доступными для переработки от военных на гражданские цели.

гается в этом исследовании, реальная цена SWU снизится до 100 долларов к 2000 г., а затем будет уменьшаться на 10 долларов за 10 лет³⁰.

Перевозка и хранение НОУ

В этом исследовании считается, что стоимость перевозки НОУ в Японию слегка превысит 3 доллара за кг урана в виде гексафторида. Предполагается, что хранение НОУ в виде гексафторида будет стоить 0,67 доллара/(кг.год). Если уран перевозится и помещается на хранение в стратегический урановый резерв в виде небогащенного оксида (триуранортоксида U_3O_8), то, как считается перевозка будет стоить 1,3 доллара/кг, а затраты на хранение в виде "желтого кекса" предполагаются равными 0,42 доллара/(кг.год)³¹.

Мощность альтернативных ЛВРов

Если Япония отложит коммерческое использование плутония, то, как мы полагаем, потребуются альтернативное производство мощностей вместо реакторов с плутониевым топливом и скорее всего эти мощности будут обеспечены обычными ЛВРами с НОУ-топливом. В этом исследовании предполагается, что каждый ЛВР будет иметь такую же мощность, как и реактор с плутониевым топливом, который он заменяет. Постройка ЛВР-1 (замена ПТР "Ома") с мощностью 606 МВт(эл) будет стоить около 2,2 миллиардов долларов, сооружение ЛВР-2 (замена ДБРР) на 600 МВт(эл) обойдется около 2,2 миллиардов долларов, ЛВР-3 (замена БРР-2) на 800 МВт(эл) будет стоить около 2,9 миллиардов долларов, а ЛВР-4 (замена БРР-3) на 1200 МВт(эл) - около 3,8 миллиардов долларов³². Затраты на НОУ-топливо для этих ЛВРов и на НОУ-топливо, заменяющее МОХ-топливо, которое Япония собирается сжигать в ЛВРах, вычислены таким же образом, как и затраты на НОУ для резерва (смотрите обсуждение выше).

Затраты в завершающем периоде топливного цикла

В эту категорию входят затраты на длительное внестанционное хранение всего отработанного топлива, полученного в течение промежутка времени, который охвачен этим исследованием. Единственные затраты в завершающем периоде для сценария однократного цикла в течение времени, которое охватывает данное исследование, связаны с временным хранением отработанного топлива. Связанная с этим величина затрат представляет собой растущую разницу между стоимостью внестанционного хранения при переработке и в сценарии однократного цикла, то есть насколько дороже будет обходиться каждый год внестанционное хранение при однократном цикле по сравнению с хранением при переработке. Этот ежегодный прирост разницы подсчитан и представлен в виде затрат для сценария однократного цикла при использовании уранового резерва. Такие же оценки капитальных затрат и затрат на техническое обслуживание в расчете на кг отработанного топлива использованы здесь для внестанционного хранения, как они использовались для плутониевой программы (смотрите обсуждение выше).

В сценарии однократного цикла предполагается, что все отработанное топливо будет положено на длительное временное внестанционное хранение в ожидании удаления в природное хранилище. Постоянный геологический депозитарий не будет завершён в Японии по крайней мере до 2045 г.³³. Поэтому окончательное удаление в природное хранилище как отработанного топлива от однократного цикла, так и высоко радиоактивных отходов от переработки находится за временными пределами данного ис-

следования (2030 г.). По этой причине окончательные затраты на удаление в природное хранилище отработанного топлива (или отходов с высоким уровнем активности для сценария переработки) не включены ни в сценарий однократного цикла, ни в сценарий переработки. Кроме того, в сценарии однократного цикла предполагается, что помещенное на внестанционное хранение отработанное топливо останется там по крайней мере до 2030 г.

СОЗДАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УРАНОВОГО РЕЗЕРВА

Японии придется приобрести значительное количество естественного урана или НОУ в течение нескольких лет, чтобы завершить создание стратегического уранового резерва. Некоторая часть этого материала могла бы стать доступной в виде ВОУ, извлеченного из демонтируемого ядерного оружия и разведенного естественным или обедненным ураном до состояния НОУ-топлива³⁴. Примерно 1300 тонн российского и американского ВОУ обеспечили бы (в случае разведения до НОУ) НОУ-резерв на 22 года для всех реакторов, какие намечается иметь к 2030 году и почти 40-летний резерв для всех реакторов, которые сейчас действуют и сооружаются³⁵. Пятьсот тонн ВОУ, которые Соединенные Штаты договорились закупить у России³⁶ эквивалентны такому количеству НОУ, которого достаточно для запитки всех реакторов, запроектированных до 2030 г. на срок более десяти лет. Хотя оценки затрат меняются, очевидно, что НОУ, полученный разведением ВОУ, гораздо дешевле, чем НОУ, полученный при левом обогащении естественного урана³⁷. Если бы Япония организовала закупку максимально возможного количества разведенного ВОУ, это могло бы стать хорошим началом для создания стратегического уранового резерва.

Впрочем, поскольку такой договоренности еще нет или она не ожидается в данном исследовании, предполагается, что никакой уран из боеголовок не поступит в распоряжение Японии и что предлагаемый 50-летний резерв будет получен исключительно путем закупок японским правительством избыточного естественного урана и обогатительных систем в течение нескольких лет. В табл. 5 указаны значительный избыток мощностей по обогащению урана, предсказываемый сейчас на мировом рынке.

Ожидается, что более 19 миллионов SWU/год будут доступны сверх ежегодной потребности в услугах по обогащению урана вплоть до 2000 г. и 16 миллионов лишних SWU/год предсказываются между 2000 и 2010 гг.³⁸ Япония могла бы закупить умеренное количество всемирного избытка обогатительных мощностей (в данном исследовании мы скромно используем величину в 10 миллионов SWU/год), пока не заполнится ее стратегический урановый резерв. Впрочем, резерв на гораздо меньшее, чем 50 количество лет без сомнения оказался бы достаточным для того, чтобы справиться с предсказуемым срывом поставок урана, в том числе в результате войны. В табл. 6 показаны затраты на резервы различного размера, которые обеспечили бы снабжение на 10 - 50 лет и экономию, которую дают эти резервы по сравнению с японской программой плутония и реактород-размножителей.

Хотя Япония могла бы захотеть обогатить уран до помещения его в резерв, нет причин, почему бы резерву нельзя было состоять из естественного урана, приобретенного за рубежом и хранимого в Японии, а не из обогащенного урана. Если бы когда-нибудь оказался нужным обогащенный уран, естественный уран можно будет тотчас же обогатить в Японии с помощью местных установок с центрифугами. При необходимости производительность обогатительных заводов с центрифугами можно было бы увеличить путем установки дополнительных кас-

Таблица 5
Избыточная мощность обогащения (в миллионах SWU/год)^a

Год	Мощности обогащения	Потребность в обогащении	Избыточные мощности
Западные и российские			
1991	46.9	26 - 27	20.9 - 21.9
1995	48.6	29.4 - 29.5	19.2 - 19.3
2000	51.7	31.7 - 32.4	19.3 - 20.0
2010	51.7	34.1 - 34.8	16.9 - 17.6
Только западные			
1991	32.9	23.0	9.9
1995	34.6	25.8	8.8
2000	37.7	27.6	10.1
2010	37.7	30.0	7.7

^a Источники западных поставок и потребностей: Uranium Institute, Uranium in the New World Market: A Statistical Update of Supply and Demand 1991-2010, October 1992, table 3, "Forecast Western Enrichment Services Requirements to 2010", p.15, and table VIII, "Fuel Cycle Services: Enrichment Capacity", p.46. Поставки и требования к обогащению в России и СНГ: U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, World Nuclear Capacity and Fuel Cycle Requirements 1992, December 1992, "Potential Impact of Uranium and Enrichment Services from the C.I.S.", p.49. Все известные в СНГ мощности по обогащению находятся в России.

кадов. Состоящий из естественного урана, а не из НОУ резерв давал бы даже более значительную экономию, избегая расходов на начальном этапе на услуги по химической переработке и обогащению. В табл. 7 показана экономия, которая была бы реализована при создании резервов естественного урана различных размеров.

ДОСТАТОЧНОСТЬ МИРОВЫХ ПОСТАВОК УРАНА

Сторонники плутониевого повторного цикла часто утверждают, что мировые запасы урана окажутся недостаточными и что, возможно через несколько десятилетий мы столкнемся с полным их истощением⁵⁹. Такие предсказания основаны на самых ограниченных оценках полных запасов урана, названных Агентством по ядерной энергии при ОЭСР (Организации экономического сотрудничества и развития) и МАГАТЭ (ОЕСД/NEA-IAEA) "достаточно уверенными ресурсами" (ДУР), которые можно извлечь при цене ниже 80 долларов/(кг урана)⁶⁰. Однако в ДУР входят только хорошо известные полностью изученные месторождения. Если включить сюда также "оценочные дополнительные ресурсы" первой категории (ОДР-1) - известные не до конца выработанные месторождения, то оценка мировых запасов увеличится более чем в полтора раза⁶¹. Далее, как отмечается в исследовании ОЕСД/NEA-

IAEA, "остается очень хорошая возможность открытия дополнительных запасов урана обычного типа, что отражено в оценках ОДР-2 и предположительных ресурсов"⁶². Если даже исключить "предположительные ресурсы" и если даже количество урана, требуемое для создания стратегического уранового резерва, вычесть из ожидаемых запасов, то урановых резервов еще хватит для обеспечения мировых потребностей до 2054 г., если воспользоваться ресурсами, которые можно извлечь по цене до 80 долларов/кг или до 2067 г., если пользоваться ресурсами со стоимостью извлечения до 130 долларов/кг⁶³. Существует достаточно урана как для создания японского стратегического уранового резерва, так и для удовлетворения мировых потребностей на далеком будущем⁶⁴.

Япония могла бы закупить у России значительную часть урана, требуемого для создания стратегического уранового резерва. Согласно одной последней оценке⁶⁵, в российских гражданских запасах в настоящее время находится огромное количество ранее добытого естественного урана (в виде скелета) и НОУ, эквивалентное 460 миллионам фунтов триурана оксида, чего достаточно для обеспечения на 18 лет НОУ для всех японских ЛВРов, которые запланированы до 2030 г. Как предполагает источник из урановой промышленности, если бы Япония предложила контакты на правительственном уровне с

Таблица 6
Сравнение затрат на резервы НОУ различных размеров^a

Действующие и сооружаемые реакторы: 42 205 МВт(эл) Стоимость плутониевой программы 50.6 миллиардов долларов		
Размер резерва (лет)	Стоимость резерва	Экономия по сравнению с плутониевой программой
10	18.1	32.6 (64%)
20	23.4	27.2 (54%)
30	27.8	22.9 (45%)
50	33.8	16.9 (33%)
Все реакторы, прогнозируемые до 2030 г.: 72 000 МВт(эл) Стоимость плутониевой программы 53.2 миллиарда долларов		
10	22.2	31.0 (58%)
20	29.6	23.6 (44%)
30	34.4	18.9 (36%)
50	39.5	13.8 (26%)

^a Все рассчитанные здесь расходы и экономия приведены в текущих ценах (млрд. долл.) и округлены с точностью до ста миллионов долларов, из-за чего отдельные суммы могут не совпадать.

Таблица 7
Сравнение затрат на резервы естественного урана²

Действующие и сооружаемые реакторы: 42 205 МВт(эл) Стоимость плутониевой программы 50.6 миллиардов долларов		
Размер резерва (лет)	Стоимость резерва	Экономия по сравнению с плутониевой программой
10	12.2	38.4 (76%)
20	14.2	36.2 (72%)
30	15.9	34.7 (69%)
50	18.3	32.2 (64%)
Все реакторы, прогнозируемые до 2030 г.: 72 000 МВт(эл) Стоимость плутониевой программы 53.2 миллиарда долларов		
10	13.8	39.5 (74%)
20	16.6	36.6 (69%)
30	18.5	34.7 (65%)
50	20.7	32.6 (61%)

² Все рассчитанные здесь расходы и экономия приведены в текущих ценах (млрд. долл.) и округлены с точностью до ста миллионов долларов, из-за чего отдельные суммы могут не совпадать.

Россией (вместо рыночных контактов) для покупки части или всего этого запаса, очень похоже, что Россия приняла бы такое предложение, особенно если бы Япония заплатила чуть больше последней средней льготной рыночной цены (может быть 10 долларов за фунт триураноксидного эквивалента)⁶⁶.

Япония могла бы также предложить закупать определенное ежегодное количество производимого урана из бывших советских республик для завершения стратегического уранового резерва. Есть основания полагать, что инвестиции в урановую промышленность, как и в другие секторы экономики, в советских республиках прекратятся. В отсутствие крупных вливаний внешнего капитала, можно ожидать, что темпы производства урана будут стремительно падать примерно на 20-30% в год⁶⁷. Впрочем, если поддерживать эти мощности, они могли бы поставлять основную часть естественного урана, требуемого для стратегического уранового резерва. По оценкам Министерства энергетики США "СНГ или его республики, могли бы ежегодно выставлять на рынок около 20 миллионов фунтов естественного урана от своих мощностей урана будущего стратегического резерва"⁶⁸. Эту величину можно перевести в более чем 23.5 миллиона фунтов триураноксидов в год, чего достаточно для обеспечения (даже без дополнительных закупок из российского запаса) более чем 75% от 30.8 миллиона фунтов триураноксидов в год, которые нужны Японии для создания стратегического уранового резерва с предполагаемыми темпами 10 миллионов SWU/год⁶⁹.

Такая сделка принесла бы выгоды как Японии, так и России. Япония приобрела бы непревзойденный уран для создания своего резерва за умеренную цену. Россия получила бы непредвиденную конвертируемую валюту в течение многих лет. Подобная сделка могла бы помочь стабилизации ситуации в России и улучшить японско-российские отношения.

Таким образом, всего в течение нескольких лет Япония могла бы получить из России и других источников резерв, эквивалентный нескольким годам доставки НОУ, который мог бы стать гарантией от случайностей в недалеком будущем, а в конечном итоге резерв, который мог бы послужить половине века. Приобретение такого резерва стоило бы гораздо меньше, чем японская коммерческая программа плутония и реакторов-размножителей.

Каждый крупный элемент в цикле плутониевого топлива стоит значительно больше, чем его двойник в цикле НОУ-топлива. Капитальные затраты на ре-

акторы с плутониевым топливом и предприятия топливного цикла гораздо выше, чем соответствующие расходы в реакторах с НОУ-топливом, поскольку плутоний требует более обширных мероприятий по сохранению безопасности и защиты окружающей среды и персонала чем НОУ, а также большей физической безопасности и больших гарантий. Более того, МОХ-топливо определенно оказывается более дорогим нежели НОУ даже если предположить крупный рост цен на уран. Как показано в таблице 8, с учетом стоимости переработки МОХ-топливо стоит в 4 - 8 раз больше, чем НОУ.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ЯПОНСКОЙ ПЛУТОНИЕВОЙ ПРОГРАММЫ С ПРЕДЛАГАЕМЫМ ЯПОНСКИМ СТРАТЕГИЧЕСКИМ УРАНОВЫМ РЕЗЕРВОМ

Анализ потока средств в текущих ценах использован для определения чистой приведенной стоимости как японской коммерческой плутониевой программы, так и предлагаемого японского стратегического уранового резерва. Предполагается, что в течение всего периода охватываемого исследованием ежегодный темп инфляции составит 4%. Следуя экономическому анализу ядерного топливного цикла проведенному OECD-NEA, приемлемое реальное значение учетного процента равно 5%⁷⁰.

Для японского стратегического уранового резерва созданы "исходный", "наихудший" и "наилучший" сценарии и прогонка модели проводилась с использованием их соответствующих предположений о ценах. В исходном сценарии использованы все обобщенные выше предположения о ценах. В наихудшем для стратегического уранового резерва сценарии предполагаются высокие цены на уран и SWU, а цены переработки и производства МОХ-топлива считаются более дешевыми, чем в исходном случае. Наилучший для стратегического уранового резерва сценарий предполагает несколько более низкие цены на уран и SWU и более высокие цены на производство МОХ-топлива и услуги по переработке. Результаты этого анализа отображены наряду с исходным случаем в табл. 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ

Экономика стратегического уранового резерва оказывается вполне благоприятной при сравнении цены резерва со стоимостью японской коммерческой плутониевой программы. Наш основной вывод состоит в том, что 50-летний резерв для всех японских

Таблица 8
Штраф за повторный плутониевый цикл в ЛВРах^а

	Ежегодный штраф ^б	
	Дешевый МОХ ("бесплатный" плутоний)	Дорогой МОХ (включена цена плутония)
Исходный случай	НОУ: 1000 - 1200 долл/кг МОХ: 1300 - 1600 долл/кг Штраф: 31 - 77 млн.долл.	НОУ: 1000 - 1200 долл/кг МОХ: 5300 - 6000 долл/кг Штраф: 507 - 600 млн.долл.
Наихудший случай для уранового резерва	НОУ: 1100 - 1300 долл/кг МОХ: 1100 - 1600 долл/кг Штраф: -28 - +50 млн.долл.	НОУ: 1100 - 1300 долл/кг МОХ: 5100 - 6000 долл/кг Штраф: 449 - 577 млн.долл.
Наилучший случай для уранового резерва	НОУ: 900 - 1000 долл/кг МОХ: 1800 - 2000 долл/кг Штраф: 104 - 173 млн.долл.	НОУ: 900 - 1000 долл/кг МОХ: 5800 - 6800 долл/кг Штраф: 588 - 708 млн.долл.
Суммарный штраф с 2000 по 2030 г.		
Исходный случай	600 млн.долл.	6.9 млрд.долл.
Наихудший случай для уранового резерва	-295 млн.долл.	6.0 млрд.долл.
Наилучший случай для уранового резерва	1.7 млрд.долл.	8.1 млрд.долл.

^а "Штраф" - это оцениваемая разница в цене между использованием МОХ-топлива в японских ЛВРах и НОУ-топлива, которое потреблялось бы в отсутствии программы повторного плутониевого цикла. Считается, что 12 японских ЛВРов на 1000 МВт(эл) каждый с загрузкой 1/3 активнойзоны МОХ-топливом будут ежегодно потреблять 120 тонн МОХ-топлива с 3%-ным содержанием плутония, начиная вскоре после 2000 г.

^б В ценах 1993 г.; округление с точностью до миллионов или ста миллионов долларов, а цены на топливо округлены с точностью до ста долларов.

^в В ценах 1993 г.; округление с точностью до ста миллионов долларов.

ЛВРов, запроектированных до 2030 г., включая те, которые будут построены вместо ПТРов и реакторов-размножителей (самый предельный и дорогой случай для японского стратегического уранового резерва) будет не таким дорогим, как запланированная до 2030 г., коммерческая плутониевая программа в широком диапазоне предположений о ценах^а. В табл. 1 показано значительное экономическое преимущество такого стратегического уранового резерва над плутониевой программой при трех вариантах предположений: исходный случай наихудший случай и наилучший случай для резерва.

При сравнении 50-летнего резерва НОУ и коммерческой плутониевой программы в исходном варианте, основанном на самых точных оценках будущих цен на приобретение урана, обогатившие переработку отработанного топлива и производство МОХ-топлива резерв дает экономию свыше 16.9 миллиардов долларов^в (или 33%) для действующих и сооружаемых реакторов и 13.7 миллиардов долларов (26%) для всех реакторов запроектированных до 2030 г. Даже в наихудшем для резерва варианте сравнения предполагающем высокие цены на уран и услуги по обогащению и низкие цены на плутониевую программу 50-летний стратегический урановый резерв все еще давал бы экономию свыше 11.3 миллиардов долларов (23%) для всех действующих и сооружаемых реакторов и 6.8 миллиардов долларов (13%) для всех реакторов, запроектированных до 2030 г. При наилучшем для резерва варианте сравнения, когда цены резерва оцениваются низко, а цены плутониевой программы - высоко, резерв даст экономию свыше 22.7 миллиардов долларов (44%) для действующих сейчас и сооружаемых реакторов и 20.9 миллиардов долларов (38%) для всех реакторов запланированных до 2030 г.

Экономия была бы еще более высокой, если приобрести меньший резерв НОУ. Как отмечается в табл. 6, 10-летний резерв для всех реакторов запланированных до 2030 г. будет стоить менее половины цены плутониевой программы, что дает экономию в 31 миллиард долларов. Резерв на 20 лет для

всех действующих в настоящее время и сооружаемых реакторов даст экономию свыше 27 миллиарда долларов (54%).

Наиболее экономным выбором стал бы резерв естественного урана. Как отмечено в табл. 7, при выборе такого пути 50-летний резерв для всех реакторов, запланированных до 2030 г., можно было бы приобрести с экономией 32.6 миллиардов долларов (61%) или же с экономией 32.3 миллиардов долларов (64%), если рассматривать только действующие и сооружаемые в настоящее время реакторы. Если Япония решит остаться с однократным урановым циклом и приобретет 10-летний запас естественного урана для всех действующих и сооружаемых в настоящее время реакторов, этот альтернативный подход оказался бы более чем в четыре раза дешевле плутониевой программы и дал бы экономию свыше 38 миллиардов долларов.

ОТВЕТ НА КРИТИКУ СО СТОРОНЫ КОМПАНИИ "БРИТИШ НУКЛЕАР ФЮЭЛ"

Результаты этого исследования вышли в виде доклада Института ядерного контроля в январе 1994 г.⁷³. Компания "Бритиш Нуклеар Фюэл Лтд" (BNFL) - корпорация, предоставляющая услуги по переработке Японии и Западной Европе подготовила резко критические комментарии к нашему докладу⁷⁴. Эти комментарии были слегка пересмотрены в апреле⁷⁵. В комментариях BNFL к нашему исследованию сделаны три недоказуемых предположения:

- нереалистично низкие цены на переработку;
- исключительно высокие цены на уран;
- странное предположение, что Япония придется приобретать весь 50-летний резерв за 10-летний период, чтобы добиться стратегической безопасности в снабжении энергией.

Только при этих предположениях BNFL может придать переработке и повторному плутониевому циклу все еще маловероятное подобие экономической выгоды.

Стоимость переработки

BNFL утверждает, что сделанное в нашем исследовании предположение о цене 1000 долларов/кг на техническое обслуживание переработки чрезмерно для Японии. Знакомый с плутониевой программой японский эксперт оценил недавно стоимость переработки в Японии на уровне 2000 долларов за кг отработанного топлива⁶. В эту оценку входят и капитальные затраты. Не будет неразумным предположить, что компонент капитальных затрат в этой цене составляет около половины, то-есть 1000 долларов/кг. В недавнем исследовании "Рэнд Корпорейшн" по расщепляющимся материалам капитальные затраты на завод в Роккашо оценены в 1000 долларов/кг⁷. В том же самом исследовании "Рэнда" подсчитано, что капитальные затраты составляют половину полной цены в контрактах по переработке на заводе THORP, принадлежащем BNFL⁸.

BNFL утверждает, что величина 1000 долларов/кг слишком велика для оценки затрат на техническое обслуживание и заявляет, что часть этой величины "должна идти на покрытие комиссионных расходов, кредитования и прибыли". Даже если это и так, то все подобные элементы входят в цену японской плутониевой программы и их надо учитывать вне зависимости от того, по какой статье они проходят.

Цены на уран

BNFL предполагает, что текущие цены на уран будут расти со скоростью 1,2% в год. Такие темпы роста исключительно маловероятны. На самом же деле за последние несколько лет текущие цены на уран значительно снижались. Возрастание цен, которое могло бы произойти в результате приобретения урана для японского резерва в нашем исследовании компенсировано тем, что мы принимаем за действительную цену триураноктоксида среднюю величину из вышки цен, спрогнозированных в 1993 г. в докладе Международной организации по энерго-ресурсам (МОЭ): 10 долларов/фунт в 1994 г., 14 долларов/фунт в 1995-1999 гг. и 18 долларов/фунт в 2000-2030 гг. (в ценах 1993 г.)⁹. Если уж на то пошло, то прогнозы МОЭ слишком высоки. Наблюдатель, близкий к урановой промышленности предсказал недавно, что к 2000 г. уран вряд ли преодолет рубеж 15 долларов за фунт триураноктоксида (в ценах 2000 г.)¹⁰.

Чтобы проанализировать чувствительность расчетов в нашем исследовании включено рассмотрение наилучшего варианта где цены на уран соответствуют верхней границе предсказаний МОЭ: 16 долларов за фунт триураноктоксида в 1995-1999 гг. и 20 долларов/фунт в 2000 - 2030 гг. Даже при этих оптимистических допущениях однократный цикл и урановый резерв эквивалент миллиарды долларов по сравнению с переработкой и повторным циклом.

BNFL утверждает далее, что закупки для уранового резерва могли бы повысить цены на уран на 50%. Но это утверждение абсолютно ни на что не опирается. Может быть BNFL полагает, что Япония заключит все контракты на закупку урана для начала формирования резерва на открытом рынке. Но нет причин полагать, что Япония занялась бы такими долгосрочными закупками подобным образом; на самом деле нет экономического смысла так поступать.

Вместо этого можно было бы завязать ряд вне-рыночных сделок на правительственном уровне с Россией и другими крупными производителями урана. Эксперты по торговле ураном подсказали нам, что влияние таких соглашений на цены оказалось бы минимальным; может быть они выросли бы на 1-2 доллара за фунт триураноктоксида. Такое повышение цены уже было учтено в модели (как обсужда-

лось выше) и оно только частично уменьшило бы экономическую выгоду резерва.

Осуществление стратегического уранового резерва

BNFL утверждает, что урановый резерв, если приобретать его за 20 или более лет, не даст уверенности в энергетической безопасности Японии. Поэтому резерв следовало бы создать в течение десяти лет и тем самым увеличить его чистую приведенную стоимость. Но для этого утверждения нет оснований. На самом деле Япония не планирует завершить перевод плутониевого топлива на коммерческий уровень до 2030 г. или до более позднего срока (примерно 40 лет от нашего времени), но BNFL не критикует на аналогичных основаниях столь длинный период времени для японской программы плутония и реакторов-размножителей. Предположения BNFL о том, что Японии следует завершить полное приобретение уранового резерва в три-четыре раза скорее, чем приращение коммерческого характера плутонию, произвольно нереалистично и эгоистично. Напротив, предполагаемые нашим исследованием темпы приобретения (10 миллионов SWU/год) основаны на реальных прогнозах мировой промышленности об избытке мощностей по обогащению. При анализе потока средств в текущих ценах расходы (выраженные в единицах чистой приведенной стоимости) тем больше, чем ближе от данного времени они производятся, поскольку они не столь сильно дисконтируются. Путем сокращения сроков приобретения уранового резерва до 10 лет BNFL нереалистично обесценивает чистую приведенную стоимость, а это наводит на мысль что BNFL играет в статистические игры, чтобы заставить экономику уранового резерва показаться непривлекательной.

Переработка и управление отходами

BNFL утверждает, что в нашем исследовании в оценке затрат по переработке входят затраты на окончательное удаление высоко радиоактивных отходов от переработки, но нет сравнительной цены окончательного удаления отработанного топлива для однократного цикла. В действительности же затраты на переработку в нашем исследовании не учитывают хранения перевозок или окончательного удаления высоко радиоактивных отходов от переработки. Это сделано по той причине, что все подобное окончательное удаление произойдет в Японии после 2045 г., когда намечается завершение сооружения геологического депозитария. Временной предел нашего исследования - это 2030 г. Поэтому стоимость окончательного удаления не включена ни в какой столбец расходной книги.

Следует отметить несколько моментов. Во-первых, затраты на окончательное удаление, поскольку они произойдут в столь далеком будущем, будут сильно дисконтированы при анализе в современных ценах. Таким образом, если даже они велики в реальном исчислении, их конечный эффект на весь анализ был бы минимальным. Во-вторых, нет причин предполагать, что окончательное удаление высоко-радиоактивных отходов от переработки окажется значительно дешевле прямого удаления отработанного топлива. На самом деле затраты могут быть значительно большими. В-третьих, наше исследование не включает в себя комиссионные расходы и стоимость удаления для предприятий плутониевого топливного цикла, поскольку все это происходит за пределами временных рамок исследования, а такие затраты могут быть такими же, как и полные начальные капитальные затраты на эти предприятия. Похоже, что эти затраты перевесят любые предельные выигрыши в стоимости при окончательном удалении высоко-радиоактивных отходов от переработки, если даже такой

выигрыш в затратах существует.

BNFL утверждает далее, что "выбор стратегического уранового резерва предполагает, что Японии придется иметь политически приемлемое место внутри страны для хранения очень больших объемов топлива, подлежащих удалению в режиме однократного цикла. Это далеко от очевидности". Чего не признает BNFL, так это тех же политических трудностей, стоящих перед выбором переработки и повторного цикла. Нет указаний на то, что японские граждане захотят с большим рвением принять у себя в садике переработанные отходы с высоким уровнем радиоактивности, чем отработанное топливо.

BNFL подразумевает, что природное хранилище для высокоактивных отходов окажется политически менее затруднительным, поскольку в нем будет находиться меньшие объемы отходов. Впрочем, на полные размеры природных хранилищ оказывает влияние также полное количество тепла, генерируемое отходами. Как признается в докладе английского министерства энергетики: "Вырытый объем природного хранилища для высокоактивных отходов или отработанного топлива должен также сравниться с тепловыделением. Поскольку оно примерно одинаково для высокоактивных отходов и отработанного топлива, таким же одинаковым окажется и объем природного хранилища, требуемый как для высокоактивных отходов, так и для отработанного топлива"⁸⁰.

BNFL кроме того игнорирует тот факт, что переработка создает огромные количества радиоактивных отходов с промежуточным и высоким уровнем радиоактивности - в десятки, если не в сотни раз больше, чем при прямом удалении отработанного топлива. С учетом гораздо большего объема окончательное удаление столь больших количеств отходов могло бы представлять гораздо большую политическую проблему для Японии, чем хранилище для отработанного топлива.

BNFL утверждает, что однократный цикл создает больше отходов при добыче и обогащении урана, чем переработка и повторный цикл. Это утверждение не имеет отношения к утверждению BNFL о том, что политически было бы гораздо труднее расположить в Японии природное хранилище для отработанного топлива, чем природное хранилище для высокоактивных отходов. В отличие от отходов при переработке, отходы от добычи и обогащения урана не посылаются в страну, которая потребляет урановое топливо. Поэтому Японии не придется удалять эти отходы в свои хранилища, а большой объем таких отходов не имеет отношения к вопросу о размещении природных хранилищ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ДАТЬ ШАНС УРАПУ

Основное положение нашего исследования, несмотря на попытки BNFL сокрушить его, оказалось неопровержимым: как с экономической, так и с политической точек зрения в широком диапазоне предположений о ценах переработки и плутониевой повторный цикл оказывается невыгодной сделкой. Для Японии ее плутониевая программа значительно более дорога и рискованна, чем однократный урановый цикл, особенно если этот цикл дополнен 30-летним стратегическим урановым резервом. Единственное значительное возражение результатам этого исследования поступило от компании BNFL, имеющей обоснованный интерес в получении миллиардов долларов от переработки японского отработанного топлива. Плутоний не экономичен, но BNFL явно ожидает, что он даст прибыль. Однако объективный анализ разублачивает безрассудство пути, по которому следует Япония и за который ратует BNFL.

Сейчас должно стать очевидным, что стратегический урановый резерв имеет смысл для Японии с

точки зрения экономики и энергетической безопасности. Те, кто осуществляют ядерную политику в Соединенных Штатах и России, должны быть готовы предложить Японии на продажу некоторое количество разведенного ВОО для стратегического уранового резерва в качестве средства удовлетворения законных тревог Японии о ее энергетической безопасности, так и способа сбыть большие количества этого ненужного материала. Такое предложение дало бы Японии жизнеспособную и рентабельную альтернативу плутонию и средства для того, чтобы избежать риска распространения и терроризма, связанного с коммерческим плутонием.

И все же даже если современные рыночные планы сделают непрактичным предложить демилитаризованный уран Японии для резерва НОУ, США и бывший Советский Союз обладают огромными неиспользуемыми запасами урана, а также мощностями по его производству и обогащению, которые они могли бы сделать доступными для Японии с большими потенциальными выгодами для своих находящихся на спаде урановых промышленности. В то же самое время японские контракты по переработке с Англией и Францией могут быть пересмотрены для обеспечения услуг по хранению отработанного топлива и обогащению урана, вместо не являющихся необходимыми извлечения и транспортировки плутония ("хранение плюс обогащение вместо плутония"). В то же самое время Япония могла бы отложить планы постройки коммерческого завода по переработке в Роккашомура и осуществить повторный цикл для избыточного плутония в ИВР'ах. Можно было бы продолжить использовать существующий опытный завод по переработке в Такае, чтобы обеспечить плутонием ограниченную программу НИОКР, куда входят опытные реакторы-размножители "Монжу" и "Джойо".

Со стратегическим урановым резервом Япония могла бы сохранять уверенность, что у нее есть полвека энергетической безопасности, обеспеченной запасами НОУ, для того чтобы двигаться в будущее. Японии не нужно будет выходить за пределы современной программы НИОКР по реакторам-размножителям, поскольку резерв обеспечит временные рамки, в пределах которых Япония могла бы разработать программу реакторов-размножителей на коммерческом уровне, если бы вдруг появились нехватки урана, которые сделали бы необходимым переход к извлечению плутония и его повторному циклу в коммерческом масштабе.

Создание запасов нефти является международно принятой формой гарантии от нестабильности цен и поставок. Создание японских запасов естественного урана или НОУ давно запаздывает. Оно представляло бы гораздо меньше политических проблем и проблем безопасности для Японии, чем продолжение добавочных перевозок плутония по морю и попытку избежать избытка плутония, что может оказаться неизбежным из-за задержки программы ВВР и МОН-топлива. Продолжение следования по плутониевому пути могло бы иметь серьезные последствия для Японии как на Корейском полуострове, так и для ее попыток получить место в Совете Безопасности ООН.

Эффективное использование ядерной энергии не требует от Японии или от любой другой страны взаимовыигна на свои плечи значительных затрат и риска плутониевой экономики. Обеспечение безопасных поставок топлива (цель современных японских планов состоит в приобретении около 100 тонн плутония к 2010 г.) может быть достигнуто при значительно меньших затратах и риске путем стратегического уранового резерва.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы с благодарностью отмечают содействие

Франса Беркоута, Виктора Глинского, Чарльза Команоффа, Мервина Миллера, информационной службы NUCEXO, Томаса Неффа и Татсюджио Сузуки а также других лиц, хорошо знакомых с ядерной промышленностью в США и Японии. Конечно, авторы несут полную ответственность за это исследование и его выводы.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Программа реакторов-размножителей была уменьшена или сокращена в Соединенных Штатах, Германии, Франции и Великобритании. Россия и Казахстан еще поддерживает программы реакторов-размножителей, но им нехватает средств продолжать их. Только Индия активно следует по пути разработки таких реакторов, хотя и с ограниченными ресурсами.

В июле 1994 г. после завершения этого исследования комитет советников по долгосрочной программке при японской Комиссии по атомной энергии (ЯКАЭ) выпустил пересмотренный долгосрочный план по ядерной энергии вплоть до 2010 г. Пересмотр отложил создание некоторых предприятий топливного цикла и слегка отложил разработку БРР и программу повторного МОХ-цикла в ЛВР'ах, но не изменил существенно японские долгосрочные привязанности к переработке и повторному плутониевому циклу. Смотрите "AEC's Revised Long-term Program Stresses Promotion of Fuel Cycle Projects", *Atoms in Japan*, June 1994, pp. 4 - 9.

2. Доклад ЯКАЭ и Комитета советников по повторному циклу ядерного топлива "Nuclear Fuel Recycling in Japan", August 1991, p.5. Два других обоснования, которые ЯКАЭ использует для повторного цикла плутония - "сохранение природных ресурсов и окружающей среды" и "сделать более удобным управление радиоактивными отходами в Японии" лежат за пределами этого доклада. Однако оба обоснования подвержены серьезной критике. Смотрите например, Frans Berkhout and William Walker, "THORP and the Economics of Reprocessing", Science Policy Research Unit, University of Sussex, November 1990; and Paul Eavis, "The Case Against Reprocessing", in Frank Barnaby, editor, *Plutonium and Security*, 1992.
3. Там же стр.2. Официальные японские данные относятся только к расщепляющимся изотопам плутония и преувеличают примерно на 30% полное количество действительно извлеченного, перевезенного и использованного плутония. Так, план повторного цикла ЯКАЭ содержит более 100 тонн плутония к 2010 г. Пересмотренный долгосрочный план, выпущенный в июне 1994 г. снижает эту оценку до 65-75 тонн расщепляющегося плутония (около 85-98 тонн полного плутония). "Outlook for plutonium supply and demand in Japan", *Atoms in Japan*, May 1994, p.7.
4. Zachary Davis et al., "Swords into Energy: Nuclear Weapons Materials After the Cold War", Congressional Research Service, Washington, DC, 29 September 1992, p.4. Эти оценки полного производства ВОР оказались слишком оптимистичными для США и, возможно, для бывшего Советского Союза. Министр энергетики США Хэйзел О'Лири недавно раскрыла, что США произвели 994 тонны ВОР в период 1945-1992 гг., из которых 258.8 тонн находятся на хранении в США. "258.8 Metric Tons of HEU Now Stored at 12 Sites Around the U.S., DOE Says", *Nuclear Fuel*, July 1994, p.1. Возможно также, что запас ВОР в бывшем Советском Союзе даже больше и по некоторым оценкам, он превышает 1000 тонн. Виктор Михайлов - глава российского минис-

терства по атомной энергии (Минатома) недавно утверждал что полные запасы ВОР в бывшем Советском Союзе составляли более 1200 тонн. По поводу достоверности этой величины идут споры. William Broad, "Russian Says Soviet Atom Arsenal Was Larger than West Estimated", *New York Times*, 26 September 1993, p.1.

5. Хотя это и не является главной целью данного доклада, особую тревогу вызывает риск распространения ядерного оружия, связанный с гражданскими плутониевыми программами. В число последних статей Института ядерного контроля по этому вопросу входят "The Impact of Japan's Plutonium Program on Global Proliferation and Nuclear Terrorism", *Asia-Pacific Forum on Sea-Shipments of Japanese Plutonium*, Tokyo, 4 October 1992; "The Spread of Nuclear Weapons in the 1990s", *Medicine and War*, 8(4), October-December 1992; "Plutonium and the NPT", *Conference on Nuclear Non-Proliferation*, Carnegie Endowment for International Peace, Washington, DC, 18 November 1993; показания Пола Левенчала - президента Института ядерного контроля в объединенном комитете по экономике Конгресса США 6 июня 1994 г.; "The New Nuclear Threat", *Wall Street Journal*, 8 July 1994; Paul Leventhal, "The JAEA's Inability to Detect Diversions of Bomb Quantities of Plutonium: IAEA Safeguards Shortcomings - A Critique", (Washington, DC, Nuclear Control Institute, 12 September 1994).
6. David Sanger, "Japan Says Technical Problems Will Force Storage of Plutonium", *New York Times*, 29 November 1992.
7. "S. Korea Fears Japanese Nuclear Capability: South Questions Tokyo's Stockpiles of Plutonium, Anticipates Arms Race", *Defense News*, 13-19 December 1993, p.6.
8. David Albright, Frans Berkhout, and William Walker, *World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium 1992*, SIPRI/Oxford University Press, 1993, p.125. В декабре 1993 г. Комитет по содействию сооружению демонстрационного ПТР отложил запуск "Ома" до марта 2003 г. "Ohma ATR Construction Plan to be Postponed One Year", *Atoms in Japan*, December 1993, p.18.
9. *Nikkei Sangyo Shimbun*, 11 October 1993.
10. Частное сообщение, Tatsujiro Suzuki, MIT, July 1993.
11. Tatsutoshi Inagaki, "Present Status of DFBR Design in Japan", *Atoms in Japan*, July 1993, p.10. Японские правительственные сотрудники рассказали авторам, что как кажется ДБРР будет стоить еще больше - приблизительно 500-600 миллиардов йен. Частное сообщение, апрель 1994 г.
12. "Project Delays Would Lead Japan to Slow Down Reprocessing Pace", *Nuclear Fuel* 12 April 1993, p.7.
13. "Japanese Utility Leader Pledges Building of Three FBRs by 2030", *Nucleonics Week*, 23 April 1992, p.8. После завершения нашего исследования ЯКАЭ выпустила пересмотренный долгосрочный план, который призывает к сооружению двух БРР (ДБРР и одного последующего БРР) к 2030 г. "Key Points in New Long-Term Program for Development and Utilization of Nuclear Energy", *Atoms in Japan*, June 1994, p.7. Даже с учетом такого пересмотра проведенные в нашем исследовании оценки совокупных капитальных затрат на программу БРР (слишком уж высокие) дают исключительные консервативные оценки стоимости каждого БРР. Смотрите примечание (11).
14. Частное сообщение, Tatsujiro Suzuki, MIT, July 1993.
15. K.Nagano and K.Yamaji, "A Study on the Needs

- and Economics of Spent Fuel Storage in Japan", in S.C.Slate et al.(editors), High Level Radioactive Waste and Spent Fuel Management, Vol.II, American Society of Mechanical Engineers, 1989, p. 475.
16. Japan Atomic Energy Commission, Advisory Committee on Nuclear Fuel Recycling, Nuclear Fuel Recycling in Japan, August 1991.
 17. Nikkey Shimbun, вечерний выпуск 24 августа 1993 г.
 18. Эта оценка может все еще оказаться слишком низкой. Источники из японской ядерной промышленности сообщают, что как сейчас ожидается завод в Рокушо будет стоить 1.8-2.0 триллиона йен (18-20 миллиардов долларов). "Japan AEC Looking at Delay in Startup of Reprocessing Plants", Nuclear Fuel, 14 February 1994, p.10.
 19. Опытный завод по переработке MOX-топлива RETF (Recycle Equipment Test Facility) планируется построить в Токаи. План-график предусматривает пуск RETF в 1998 г., а его стоимость составит около 120 миллиардов йен (1.2 миллиарда долларов). "PNC's FBR-spent-fuel Reprocessing Test-facility Plan Approved", Atoms in Japan, August 1993, p.19. В данном исследовании при оценке затрат на плутониевую программу не учтены расходы на RETF.
 20. Стандартная методология оценки стоимости ядерных предприятий, принятая министерством энергетики США предсказывает, что капитальные затраты на завод по переработке MOX-топлива окажутся примерно на 40% выше, чем для эквивалентного завода по переработке ЛВР-топлива. U.S. Department of Energy, Nuclear Energy Cost Data Base, DE89-000407, December 1988 [в дальнейшем цитируется как DOE, 1988], "Recycle facility costs", table 4.16, p.43.
 21. "PNC, with Figures in Hand, Argues Impending Need to Ship Plutonium", Nuclear Fuel, 3 August 1992, p.6. Опытный завод по переработке в Токаи никогда не достигал своей проектной мощности 210 тонн отработавшего топлива в год.
 22. Этот кредит подсчитан как цена естественного урана в том году, когда происходит переработка с вычетом штрафа 10 долларов за фунт урана. Такой штраф отражает тот факт, что из-за загрязнения ураном-236 и гамма-излучением извлеченный уран гораздо дороже для использования и поэтому не нужен в такой степени, как свежий уран. NEA, 1989, pp.124-130.
 23. Albright et al., 1993, p.94.
 24. Ibid., p.99.
 25. По-видимому, это недооценка, поскольку сюда не включены затраты на хранение, транспортировку и окончательное удаление отходов переработки с высоким уровнем радиоактивности. Frans Berkhout and William Walker, "Are Current Back-end Policies Sustainable?", paper presented to the conference "The Management of Spent Fuel", London, 29-30 April 1991, p.4. В недавнем анализе переработки проведенном Центром ядерных исследований в Карлсруэ (Германия) стоимость переработки согласно контрактам немецких коммунальных служб с компаниями "Когема" и BNFL (куда включены и пошлины) оценена в 2750 немецких марок (1660 долларов) за кг тяжелого металла. "Direct Disposal Route Will Retain Cost Advantage, KFK Official Says", Nuclear Fuel, 22 November 1993, p.7.
 26. "Japanese Accelerate Plan to Build Commercial MOX Fabrication Plant", Nucleonics Week, 18 February 1993, p.16.
 27. DOE, 1988, p.43.
 28. Капитальные затраты на предприятия по производству MOX-топлива пропущены в этом исследовании, чтобы полностью задокументировать стоимость плутониевой программы. Впрочем, эти капитальные затраты не входят в окончательные сравнения, чтобы избежать двойного учета, поскольку использованные в этом исследовании цены на производство MOX-топлива (смотрите ниже) уже содержат капитальные затраты.
 29. Частное сообщение, Frans Berkhout, Princeton University, March 1993. Смотрите Berkhout et al., 1992.
 30. DOE, 1988, p.43.
 31. "Court Says Hesse Must Pay Siemens for Cost of Shutting MOX Plant", Nuclear Fuel, 26 April 1993, p.9. Утверждения крупных европейских переработчиков, что MOX-топливо для ЛВРов может конкурировать с НОУ к концу века или немного позже, невозможно доказать ввиду того, что эти компании отказываются раскрыть предположения, лежащие в основе их утверждений (и особенно, предполагаемые цены производства MOX-топлива в расчете на кг). Впрочем, в нашем исследовании скромно предполагается что цены всех трех типов MOX-топлива (для ЛВР ПТР и БРР) будут понижаться на 10% каждые 10 лет. Частное сообщение NUCEXO Information Services, September 1993.
 32. Частное сообщение Frans Berkhout, Princeton University, September 1993.
 33. По оценкам STA, каждый из этих 12 ЛВРов будет потреблять 0.3 тонны расщепляющегося плутония ежегодно: частное сообщение STA г-ну Н. Seki - члену компании Japanese Diet, 5 February 1993. Если считать что в MOX-топливе содержится 3% расщепляющегося (4.1% всего) плутония (Berkhout et al., 1992, table A-4, p.37), эти 12 ЛВРов потребовали бы ежегодно около 120 тонн MOX-топлива.
 34. Albright et al., 1993, p.125.
 35. Ibid. Предполагается, что MOX-топливо для БРР содержит 18.5% расщепляющегося плутония; это слегка превышает степень обогащения топлива для реактора "Монжу".
 36. OECD Nuclear Energy Agency, Plutonium Fuel: An Assessment, NEA, 1989, p.64.
 37. Frans Berkhout et al., "Disposition of Separated Plutonium", Science & Global Security 3 (3-4), 1992, p.9.
 38. Основано на оценках из Nagano and Yamaji, 1989, table 4.2, p.475 (введены поправки на инфляцию).
 39. Не учтен "Токаи Джэпко" - единственный японский реактор типа "Магнокс", так как он запитывается естественным ураном. Не включены БРРы "Джойо" и "Мококу", а также ПТР "Фукусима" и "Ома" потому что они запитываются MOX-ом не НОУ-топливом. Если не оговорено иначе, все данные по отдельным реакторам взяты из Nuclear Engineering International, World Nuclear Industry Handbook (NEI, 1993). Ежегодные потребности в НОУ для японских ЛВРов вычисляются с использованием формулы:
Полная мощность [МВт(эл)] умножается на 365 и на коэффициент использования, а затем делится на тепловую калд. и на глубину выгорания топлива.
 40. NEI, 1993, p.34.
 41. "Key Points in New Long-Term Program for Development and Utilization of Nuclear Energy", Atoms in Japan, June 1994, p.7.
 42. Atsuyuki Suzuki, University of Tokyo, "Implications of Civilian Plutonium Programs - A Japanese Perspective", paper presented at International Workshop on Nuclear Disarmament and Non-Proliferation: Issues for International Actions, Tokyo, 15-16 March 1993, p.6. Японский институт по экономике энергетики выпустил в декабре 1992 г. доклад где постулировано по-

- сколько сценариев производства японской ядерной энергии в 2010 г. Максимальная оценка составляет 60 500 МВт(эл) а минимальная – 55 000 МВт(эл). Nuclear News, February 1993, pp. 51-52.
43. Частное сообщение, Tatsujiro Suzuki, MITI, September 1993.
44. В этом исследовании предполагается, что будет достигнут коэффициент использования 75%. MITI сообщает, что средний за 1992 г. коэффициент использования составил 73.5% для японских водяных реакторов под давлением и 73.6% для кипящих реакторов (Nucleonics News, 21 January 1993, p.5). Предполагается, что тепловой к.п.д. равен 33.6% – это среднее значение для японских ЛВРов, действующих или строящихся на начало 1993 г.(NEA, 1993, p.5). Глубина выгорания топлива в среднем предполагается равной 43000 МВт-дней на тонну НОУ [МВт-д/т]. В исследовании по плутонию OECD допускает этот уровень выгорания в своей основной НОУ-модели, основанной на ежегодной замене четверти активной зоны в реакторах под давлением (NEA, 1989, p.48).
45. "ERI Publishes its 1993 Report", Nuclear Fuel, 7 June 1993, p.15.
46. Ibid. Ни ERI, ни OECD не предсказывают значительного изменения реальных цен на услуги по химической переработке урана в течение длительного времени.
47. Среднее обогащение НОУ в Японии в настоящее время близко к этому уровню, составляя в среднем около 3.4% для кипящих реакторов и 3.8% для реакторов под давлением в соответствии с Public Service Department, MITI, Nuclear Power Handbook 1993 [in Japanese], pp. 604 – 605, 618 – 619. В исследовании OECD по плутонию топливу предполагается обогащение 3.7% для основной НОУ-модели, основанной на ежегодной замене четверти активной зоны в реакторах под давлением (NEA, 1989, p.48). В основной модели OECD допускается, что такого уровня обогащения хватит, чтобы выдержать будущую глубину выгорания топлива 43 000 МВт-д/т, предполагаемую в этом исследовании. При всех расчетах берется, что содержание U-235 в отходах обогащения составляет 0.2%. Это слегка выше, чем в текущих контрактах, но является разумной средней оценкой для периода после 2000 г. (DOE, 1988, p.14).
48. Все оценки округлены с точностью до ста тысяч SWU.
49. Частное сообщение NUENCO Information Service, April 1993.
50. Частное сообщение, NUENCO Information Service, September 1993.
51. Основано на частном сообщении знакомого с затратами на хранение и перевозки урана эксперта из ядерной промышленности.
52. Эти оценки основаны на десяти японских ЛВР-ах, которые были только что построены или еще сооружались на сентябрь 1993 г.; капитальные затраты на них лежат в пределах от 3 до 4.3 миллиардов долларов. Самый малый из этих реакторов имеет мощность 825 МВт(эл), а самый большой – 1360 МВт(эл) (частное сообщение, Japan Electric Power Industry Council, Washington, DC, September 1993). Основываясь на этих затратах, наше исследование принимает при оценке капитальных затрат величину 3636 долларов/кВт для ЛВР-1, ЛВР-2 и ЛВР-3, а также 3162 долларов/кВт для более крупного ЛВР-4 в соответствии с экономикой подобия.
53. Высказывание бывшего руководителя отделения ядерного топлива STA, Tsuchi Sakata прогнотировано в "Project Delay Would Lead to Slow Down Reprocessing Pace", Nuclear Fuel, 12 April 1993, p.6.
54. Thomas Neff, "A Grand Uranium Bargain", New York Times, 24 October 1991, p.A25.
55. Смотрите табл.4 для расчета того, сколько японских потребностей в НОУ можно удовлетворить разведенным оружейным ВОУ. Оценки величины запасов ВОУ в США и России приведены в примечании (4).
56. Соглашение между правительствами Соединенных Штатов Америки и Российской Федерации о распоряжении высокообогащенным ураном, извлеченным из ядерного оружия 18 февраля 1993 г. Перепечатано в "Russian-U.S. HEU Agreement", Nuclear Fuel, 1 March 1993, pp.3-5.
57. Смотрите например, Thomas Neff, "Integrating Uranium from Weapons into the Civil Fuel Cycle", Science & Global Security 3 (3-4), pp.59-60. Впрочем, полные затраты на стратегический урановый резерв оказались бы выше, если закупать больше НОУ в начале накопления, а не растянуть приобретение на более длительный срок.
58. Эти прогнозы могут значительно недооценить излишки мощностей по обогащению на будущее. Как мы понимаем, руководитель Минатома Виктор Михайлов заявил во время недавнего посещения Соединенных Штатов, что российские мощности по обогащению составляют 30 миллионов SWU/год, что значительно превышает известную российскую производительность 14 миллионов SWU/год. Впрочем, часть этих дополнительных мощностей в настоящее время может не действовать.
59. Hiroshi Kurihara (PNC), "A Japanese Perspective on Storage of Nuclear Materials from Dismantled Nuclear Warheads", paper presented at the International Workshop on Nuclear Disarmament and Non-Proliferation: Issues for International Actions, Tokyo, 15-16 March 1993, addendum and fig.1.
60. OECD-NEA/IAEA, Uranium 1991: Resources, Production and Demand, 1992, table 1, "Reasonably Assured Resources", p.21. Это часто цитируемое исследование называют также "Красной кножкой". Смотрите например примечание (59).
61. Ibid., table 2, "Estimated Additional Resources - Category I", p.24.
62. Ibid., p.10.
63. Расчеты основаны на оценках OECD-NEA/IAEA уранового резерва (ibid.) и прогнозах Уранового института по будущим мировым потребностям в уране. Uranium Institute, Uranium in the New World Market: A Statistical Update of Supply and Demand 1991-2010, October 1992, table I, "Uranium Requirements", p.39.
64. Более того, в этих оценках не учтен стимулирующий эффект от более высоких цен на разведку урана что приведет к открытиям, которые значительно увеличат оценки запасов. Смотрите например David Shramm, "The Effect of Uranium Prices on Uranium Exploration", NUENCO Nuclear Fuel Market Analyses and Price Trend Projections, October 1989.
65. Частное сообщение, NUENCO Information Services, Denver, Colorado, March 1993. В эту оценку не входит запас военного урана или ВОУ в ядерном оружии.
66. Россия должна бы все больше желать продать большое количества урана Японии по разумным ценам, если принять во внимание отказ Европейского сообщества открыть свой урановый рынок российским контрактам с ценами, которые на 25-50% ниже того, что Европейское агентство по поставкам считает нормальной рыночной ценой. "EC in Discord Over Russian Nuclear Fuel", Wall Street Journal, 5 April 1993, p.A113.
67. Частное сообщение, NUENCO Information Ser-

- vices, Denver, Colorado, March 1993.
68. Energy Information Administration, U.S. Department of Energy, World Nuclear Capacity and Fuel Requirements 1992, December 1992, "Nuclear Industry of the Commonwealth of Independent States", p. 39.
 69. Эта оценка ежегодных потребностей предполагает что стратегический урановый резерв приобретается темпами, соответствующими десяти миллионам SWU/год.
 70. В самом последнем исследовании OECD по стоимости произведенной электроэнергии используется 5-процентная учетная ставка для основной модели и отмечается что "пять процентов остается наиболее часто используемым значением в странах OECD". NEA/IAEA, Projected Costs of Generating Electricity: Update 1992, December 1993, p.24. В том же самом исследовании сообщается что при оценках стоимости производства электроэнергии в Японии представленных MITI в OECD, "пятипроцентная учетная ставка использована с учетом реальных превалярующих процентных ставок". Ibid., p.118.
 71. Это могло бы оказаться неверным всего в одном случае, если предположить, что плутоний является полностью "бесплатным благом", то-есть когда ни одна из затрат по переработке не отражена при экономическом сравнении между повторным плутониевым циклом и НОУ. Такое сравнение явно нереалистично: переработка всегда что-то стоит, даже если полностью вычеркнуть капитальные затраты на постройку завода. И все же даже если посчитать плутоний "бесплатным", MOX-топливо все же окажется более дорогим, нежели НОУ (около 1300 - 1600 долларов за кг MOX-топлива по сравнению с примерно 1000-1200 долларами за кг НОУ в постоянных ценах 1993 г.).
 72. Все оценки экономии даны в текущих ценах и округлены с точностью до ста миллионов долларов.
 73. Paul Leventhal and Steven Dolley, "A Japanese Strategic Uranium Reserve: A Safe and Economic Alternative to Plutonium", Updated and Expanded Report, Nuclear Control Institute, 14 January 1994.
 74. British Nuclear Fuel Ltd., "Should Japan Reprocess or Build a Strategic U-Reserve?", Nuclear Engineering International, April 1994, pp.28-29. Наш ответ представлен в Steven Dolley, "Japanese Strategic Uranium Reserve: A Response to BNFL", Nuclear Engineering International, September 1994, pp.50-51.
 75. British Nuclear Fuel Ltd., "Review of the Paper 'A Japanese Strategic Uranium Reserve: A Safe and Economic Alternative to Plutonium' by Paul Leventhal and Steven Dolley of the Nuclear Control Institute", April 1994.
 76. Atsuyuki Suzuki, University of Tokyo, Atlantic Council meeting, Washington, DC, 14 September 1993.
 77. Brian Chow and Kenneth Solomon, Limiting the Spread of Weapon-Usable Fissile Materials, Rand Corporation, November 1993, p.35.
 78. Ibid., p.34.
 79. Частное сообщение, Michael Klapik, McGrawHill Nuclear Publications, September 1993.
 80. Цитировано в Paul Eavis, "The Case Against Reprocessing", Plutonium and Security, Frank Barnaby (editor), 1992, p.20.